



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Architettura e Società

Corso di Laurea Magistrale

Polo Regionale di Mantova

A.A. 2010/2011

I MATERIALI DA COSTRUZIONE

Dalle origini alla Normativa energetica dei laterizi

Relatore: Stefano Rugginenti

Laureanda: Repossi Valentina 740876

INDICE

Abstract	17
Introduzione	18
1- Lapidei:	23
1.1. Genesi e classificazione delle rocce	24
1. 2. Requisiti tecnici delle rocce	46
1. 3. Fasi di lavorazione della pietra	52
2- Legno:	63
2.1. Genesi e classificazione del legno	63
2.2. Requisiti tecnici del legno	71
2.2.1. Difetti del legno	76
2.3. Fasi di lavorazione del legno	80
2.4. Utilizzo del legno in architettura	89
2.5. Normativa di riferimento	93
3- Leganti:	99
3.1. Genesi e classificazione del gesso	99
3.1.1. Requisiti tecnici del gesso	101
3.1.2. Fasi di lavorazione del gesso	101
3.1.3. Utilizzo del gesso in architettura	106
3.2. Calci	110
3.2.1. Genesi e caratteristiche della calce aerea	110
3.2.2. Fasi di lavorazione della calce aerea	110
3.2.3. Genesi e caratteristiche della calce idraulica	114
3.2.4. Fasi di lavorazione della calce idraulica	115
3.2.5. Utilizzo della calce nell'architettura	117
3.2.6 Normativa di riferimento	122

3.3. Cemento	125
3.3.1. Genesi e classificazione del cemento	125
3.3.2. Fasi di lavorazione del cemento	127
3.3.3. Utilizzo del cemento nell'architettura	130
3.3.4. Normativa di riferimento	136
3.4. Calcestruzzo	137
3.4.1. Requisiti tecnici del calcestruzzo	137
3.4.2. Tipo e dosaggio del calcestruzzo	138
3.4.3. Normativa di riferimento	139
3.5. Malta	140
3.5.1. I collanti e gli additivi	145
3.5.2. Requisiti tecnici della malta	146

4- Isolanti: 149

4.1. Isolanti inorganici sintetici	151
4.2. Isolanti organici sintetici	157
4.3. Isolanti inorganici naturali	161
4.4. Isolanti organici naturali	165

5- Laterizi: 181

5.1. Genesi e classificazione delle argille	181
5.2. Requisiti tecnici dell'argilla	184
5.3. Fasi di lavorazione del laterizio	187
5.3.1. Tessitura muraria	202
5.4. Quadro normativo	203
5.4.1. Normativa energetica	214
5.4.2. La politica energetica UE	214
5.4.3. Il contesto italiano	217

5.4.4. Il Decreto Legislativo del 19 agosto 2005, n.192 e successive modifiche	218
5.5. Criteri progettuali	221
5.5.1. Suddivisione del territorio italiano in zone climatiche	223
5.5.2. Rapporto di forma dell'edificio e orientamento	226
5.6. Tipologie edilizie	235
5.7. Azioni comune tipologiche nel 2010	237
5.7.1. Laterizi per murature	237
5.7.2. Laterizi per solaio	246
5.8. Studio delle evoluzioni tipologiche dal 1998 al 2010	250
5.9. Evoluzione del metodo di costruire	275
5.9.1. Prodotti innovativi	276
5.10. Conclusioni	288
Bibliografia	293

INDICE DELLE FIGURE

1- Lapidari:

Fig.1. Principali rocce magmatiche da costruzione	29
Fig.2. Principali rocce clastiche da costruzione	35
Fig.3. Rocce sedimentarie	35
Fig.4. Principali rocce sedimentarie da costruzione	40
Fig.5. Principali rocce metamorfiche da costruzione	45
Fig.6. Principali tipi di cava	52
Fig.7. Tagliata a mano della roccia	54
Fig.8. Distacco dei blocchi con sistemi manuali	55
Fig.9. Distacco controllato dei grandi blocchi	55
Fig.10. Strumenti per la lavorazione della pietra	57
Fig.11. Squadratura di un blocco di pietra	58

2- Legno:

Fig.12. Sezione radiale del tronco	63
Fig.13. Cellule del legno	65
Fig.14. Particolare del corpo legnoso di conifere	65
Fig.15. Particolare del corpo legnoso di latifoglie	67
Fig.16. Il taglio del legno nel bosco	81
Fig.17. Sramatura	82
Fig.18. Trasporto via fluviale	83
Fig.19. Esempi di schemi di taglio del tronco per ricavare segati di varia forma e dimensione	85
Fig.20. Stagionatura naturale del legno	87
Fig.21. Stagionatura artificiale del legno	88
Fig.22. Costruzione palificata	89
Fig.23. Stavkirche norvegese	90
Fig.24. Ponte palladiano	90
Fig.25. Sistema ballon frame	91
Fig.26. Chiesa San Francesco, Imola, Italia	92
Fig.27. Wisa woodwn hotel, Helsinki, Finlandia	92

3- Leganti:

Fig.28. Lastre per tramezze	107
Fig.29. Condotte per impianto di condizionamento	109
Fig.30. Forno verticale	110
Fig.31. Fase di spegnimento della calce viva	111
Fig.32. Ciclo della calce aerea	112
Fig.33. Estrazione roccia	115
Fig.34. Forno di cottura	115
Fig.35. Acquedotto Appio	118
Fig.36. Ponte Risorgimento, Roma	134
Fig.37. Casa in Rue Franklin	134
Fig.38. Le Corbusier, System Dom-in (1914)	135
Fig.39. Le Corbusier, Ville Savoye (1931)	135
Fig.40. Maillart, pilastro a fungo (1908)	135
Fig.41. Maillart, Zementhalle (1939)	135
Fig.42. R.Morandi, Hanger Orly (1916)	135
Fig.43. F.Candela, ristorante (1958)	135

4- Isolanti:

Fig.44. Vetro cellulare	151
Fig.45. lana di vetro	152
Fig.46. Lana di roccia	154
Fig.47. Silicato di calcio	156
Fig.48. Poliestere espanso	157
Fig.49. Poliestere estruso	158
Fig.50. Poliuretano	160
Fig.51. Argilla espansa	161
Fig.52. Perlite espansa	162
Fig.53. Vermiculite espansa	163
Fig.54. Pomice naturale	164
Fig.55. Sughero	165
Fig.56. Fibre di cellulosa	166

Fig.57. Fibre di cocco	167
Fig.58. Canapa	169
Fig.59. Lino	170
Fig.60. Cotone	171
Fig.61. Paglia	172
Fig.62. Fibra di legno	174
Fig.63. Legno mineralizzato	174
Fig.64. Lana di pecora	

5- Laterizi:

Fig.65. Cava	187
Fig.66. Estrazione manuale dell'argilla	188
Fig.67. Estrazione meccanica dell'argilla con la noria di Hama in Siria	188
Fig.68. Draga	189
Fig.69. Draga continua	189
Fig.70. Decantazione in acqua corrente con sistema a vasche	190
Fig.71. Banco per la formatura a mano dei mattoni	191
Fig.72. Forme di legno impiegate per il modellamento dei laterizi	192
Fig.73. Macchina a trafila	193
Fig.74. Preparazione laterizio per la fase di essiccamento	195
Fig.75. Sezione e pianta forno Hoffmann	200
Fig.76. Tessiture murarie	202
Fig.77. Classificazione laterizi	222
Fig.78. Zone climatiche	225
Fig.79. Forme tipologiche degli edifici	226
Fig.80. Soleggiamento durante le stagioni	230
Fig.81. Apporti solari in rapporto all'orientamento dell'edificio	231
Fig.82. Esempio di irraggiamento solare nella stagione invernale ed estiva	231
Fig.83. Tipologie edilizie	236
Fig.84. Blocchi con isolante integrato	277
Fig.85. Angolo di muratura con pilastro 25x25	280
Fig.86. Muratura con pilastro 25x25	280

Fig.87. Angolo di muratura con pilastro 30x30	284
Fig.88. Muratura con pilastro 30x30	284
Fig.89. Catalogo prodotti laterizi del 2000	286
Fig.90. Catalogo prodotti laterizi del 2010	287

INDICE DELLE TABELLE

1- Lapidari:

Tab.1. Rocce magmatiche	27
Tab.2. Rocce sedimentarie	36
Tab.3. Peso specifico e valori di porosità delle rocce	46
Tab.4. Scala di Moshes	47
Tab.5. Valori di resistenza meccanica delle rocce	49
Tab.6. Valori di coefficienti di dilatazione	51

2- Legno:

Tab.7. Equilibrio igroscopico del legno da costruzione	70
Tab.8. Peso specifico essenze legnose	72
Tab.9. Classificazione legnami	74

3- Leganti:

Tab.10. Resistenza della malta	146
--------------------------------	-----

4- Isolanti:

Tab.11. Tipi di isolanti	177
--------------------------	-----

5- Laterizi:

Tab.12. Argilla comune	182
Tab.13. Dimensioni pori argilla	186
Tab.14. Classificazione laterizi(W/m ³ K)	221
Tab.15. Valori limite 1 gennaio 2006 dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale EPT (KW/m ² anno)	227
Tab.16. Valori limite 1 gennaio 2008 dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale EPT (KW/m ² anno)	227
Tab.17. Valori limite 1 gennaio 2010 dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale EPT (KW/m ² anno)	227

Tab.18. Valore limite della trasmittanza termica utile U delle strutture opache verticali (W/ m ² K)	228
Tab.19. Valore limite della trasmittanza termica utile U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura (W/ m ² K)	228
Tab.20. Valore limite della trasmittanza termica utile U delle strutture opache Orizzontali di pavimento (W/ m ² K)	229
Tab.21. Valore limite della trasmittanza termica utile U delle chiusure Trasparenti comprensive degli infissi (W/ m ² K)	229
Tab.22. Valori di irradiazione solare estiva	229
Tab.23. Coefficienti di attenuazione Fa e sfasamento Ψ (in ore) per pareti verticali con isolamento ripartito	230
Tab.24. Coefficiente di sfasamento (in ore) per pareti verticali con isolamento concentrato	232
Tab.25. Proprietà mattone pieno	238
Tab.26. Proprietà mattone 3 fori	239
Tab.27. Proprietà mattone forato	239
Tab.28. Proprietà bimattone	240
Tab.29. Proprietà doppio uni	240
Tab.30. Proprietà doppio doppio uni	241
Tab.31. Proprietà blocco svizzero	241
Tab.32. Proprietà modulare 30	242
Tab.33. Proprietà modulare 25	242
Tab.34. Proprietà blocco incastro H19	243
Tab.35. Proprietà blocco incastro H24.5	243
Tab.36. Proprietà tramezza 6-8/33	244
Tab.37. Proprietà tramezza 6-8/50	244
Tab.38. Proprietà tramezza 12/25	245
Tab.39. Proprietà interposto 8-12	246
Tab.40. Proprietà interposto 16/40	247
Tab.41. Proprietà interposto 24/40	247
Tab.42. Proprietà interposto 28/40	248
Tab.43. Proprietà interposto 30/40	248

Tab.44. Proprietà condizioni oggetto 1	251
Tab.45. Prestazioni oggetto 1	252
Tab.46. Proprietà condizioni oggetto 2	254
Tab.47. Prestazioni oggetto 2	255
Tab.48. Proprietà condizioni oggetto 3	257
Tab.49. Prestazioni oggetto 3	259
Tab.50. Proprietà condizioni oggetto 4	261
Tab.51. Prestazioni oggetto 4	263
Tab.52. Proprietà condizioni oggetto 5	265
Tab.53. Prestazioni oggetto 5	267
Tab.54. Proprietà condizioni oggetto 6	269
Tab.55. Prestazioni oggetto 6	270
Tab.56. Proprietà condizioni oggetto 7	272
Tab.57. Prestazioni oggetto 7	273
Tab.58. Proprietà condizioni blocco 1	278
Tab.59. Proprietà condizioni blocco 1	278
Tab.60. Prestazioni blocco 1	279
Tab.61. Prestazioni blocco 1	281
Tab.62. Proprietà condizioni blocco 2	282
Tab.63. Proprietà condizioni blocco 2	282
Tab.64. Prestazioni blocco 2	283
Tab.65. Prestazioni blocco 2	285

INDICE DEI GRAFICI

Grafico.1. Classificazione isolanti	150
Grafico.2. Carta di Casagrande	185
Grafico.3. Elaborazione ENEA su dati MSE	214
Grafico.4. Prestazioni oggetto 1	252
Grafico.5. Prestazioni oggetto 2	255
Grafico.6. Prestazioni oggetto 3	259
Grafico.7. Prestazioni oggetto 4	263
Grafico.8. Prestazioni oggetto 5	267
Grafico.9. Prestazioni oggetto 6	271
Grafico.10. Prestazioni oggetto 7	274
Grafico.11. Tempo – prestazioni	289
Grafico.12. Tempo - prestazioni	290

ABSTRACT

Il progetto di tesi riguarda l'approfondimento dei principali materiali da costruzione attraverso l'analisi di ognuno di essi partendo da un'analisi genetica e di classificazione del materiale con l'elenco dei propri requisiti tecnici, proseguendo con la fase di lavorazione. Infine è stato analizzato il quadro normativo per ciascuno e l'utilizzo di questi materiali nell'architettura, dalle origini fino ad oggi. I materiali da costruzione presi in considerazione sono i lapidei, il legno, i leganti, gli isolanti ed infine i laterizi. Proprio su questi ultimi mi sono soffermata maggiormente ed oltre ad analizzare le fasi sopra elencate sono andata ad analizzare più nel dettaglio l'aspetto normativo, a livello europeo e a livello nazionale, che ha cambiato il metodo di lavorazione del prodotto, in particolare modo i propri requisiti tecnici e di conseguenza ha cambiato il metodo di progettazione degli edifici. La normativa a cui mi riferisco è quella energetica con il decreto legislativo del 19 agosto 2005, n. 192 e successive modifiche. Attraverso questo decreto ho preso in esame una serie di fornaci ed ho studiato i cambiamenti prima della normativa e successivamente per evidenziare i traguardi raggiunti grazie alla normativa.

INTRODUZIONE

Tecniche di costruzione

Le tecniche di costruzione, utilizzate per la realizzazione di un edificio, devono essere scelte principalmente in relazione del tipo di materiale che si ritiene più adatto nella costruzione. Per ridurre i costi energetici ed ambientali, oltre che per adattare al meglio l'edificio alle condizioni climatiche del luogo è bene che i materiali scelti siano presenti in abbondanza nella zona di costruzione.

Le principali tipologie di tecniche di costruzione si possono raggruppare in due macro sistemi:

- *Tecniche di costruzione pesante*, che sono le più diffuse nella nostra cultura del costruire: queste comprendono le costruzioni a muratura portante realizzate in laterizio, in pietra o in cemento.
 - *Tecniche di costruzione leggera*, che trovano una maggiore diffusione in oriente, dove tra i materiali da costruzione predominano prodotti di origine animale e vegetale come il legno, la paglia, etc. Questo tipo di sistemi costruttivi è totalmente a secco e ciò comporta la possibilità di prefabbricare la maggior parte delle strutture al di fuori del cantiere, riservando a quest'ultimo soltanto la fase di assemblaggio finale.
-
- **Sistemi di costruzione pesante**

Costruzione in laterizio

Il laterizio in Italia fa parte della tradizione costruttiva, sia per l'abbondanza delle materie prime sia per le caratteristiche che si adattano particolarmente alle condizioni climatiche dell'intera penisola. Data l'elevata flessibilità di impiego, il laterizio, si presenta bene per costruire edifici massivi. Può essere, infatti, utilizzato in forma di mattoni pieni, semipieni e forati, più o meno porizzati, a seconda delle caratteristiche strutturali e dell'isolamento sia termico che acustico richiesto. La facilità con cui è possibile, tramite il laterizio, configurare diversi spessori con differenti caratteristiche energetiche lo rende adatto soprattutto nella realizzazione di sistemi bioclimatici per il guadagno termico degli edifici, anche perché presenta valide capacità di accumulo energetico e di distribuzione di flussi termici.

Oltre ad essere ideale, come tutte le murature massive, nei sistemi a guadagno diretto, è utilizzato anche in quelli a guadagno indiretto come i muri solari (muri trombe, in cui si realizza un doppio

involucro vetro-muro in laterizio) o nei sistemi a guadagno isolato (sistemi a collettore solare e massa termica interna, in cui il calore viene trasportato per convezione).

Costruzioni in pietra

La pietra è il materiale da costruzione più antico, alla base della costruzione delle caverne, caratterizzato da una elevatissima durabilità e da una grande capacità di accumulare calore; per questo motivo è ideale da combinare con la maggior parte dei sistemi di guadagno passivo dell'energia solare. Con la pietra si costruiscono murature portanti e solitamente di grande spessore, con blocchi più o meno grandi a ricavare tessiture diverse, legati con calce o assemblati a secco; talvolta il suo impiego è limitato ad architravi e altri elementi strutturali, vista la notevole resistenza sia a trazione che a compressione. Dal punto di vista del confort abitativo è un materiale ottimale, anche se spesso bisogna fare i conti con presenza di radon ad essa associato.

Il suo impiego è penalizzante in senso ecologico soprattutto nei luoghi in cui non è presente in natura, in quanto può comportare alti costi (anche ambientali) di estrazione, trasporto e lavorazione; per contro può non richiedere l'intonacatura, il che corrisponde ad un risparmio di materiale.

Costruzioni in cemento

Il cemento è il materiale principe dell'industria delle costruzioni. Esso viene usato quasi esclusivamente insieme alla sabbia per formare la malta oppure con altri inerti, come il pietrisco, per ottenere il calcestruzzo, utilizzato soprattutto per le opere in cemento armato. In ogni caso il cemento ha bisogno dell'acqua per essere adeguatamente impastato e per poter reagire chimicamente e fare presa. La qualità del cemento e dei prodotti derivati, come la malta e il calcestruzzo, dipende dalla materia prima e dalle proporzioni dei componenti, soprattutto dalla percentuale di acqua. Il rapporto acqua/cemento è indispensabile che sia al disotto di certi limiti per evitare che la successiva evaporazione lasci troppi vuoti all'interno della massa solidificata peggiorandone la resistenza e le qualità meccaniche.

- **Sistemi di costruzione leggera**

Costruzione in legno

La costruzione in legno si avvicina molto alle tecniche massive, essendo l'unico sistema ecologico a muratura portante realizzato a secco. Esso deriva dalla tradizione dei sistemi a blinde, presenti nella nostra architettura alpina, in cui i tronchi vengono posizionati ortogonalmente l'uno sopra l'altro a formare una parete massiccia in legno dallo spessore importante con notevoli funzioni statiche. Nei sistemi più moderni il legno può assumere sia la funzione di trave (soprattutto all'interno degli edifici) che costituire murature esterne e solai massicci, realizzati accoppiando ed indicando le tavole, in maniera da ottenere notevoli spessori, in cui se una singola tavola è difettosa, la sollecitazione viene accolta dalle tavole vicine. Tra i vantaggi di questo sistema vi è la possibilità di ridurre l'altezza statica dei solai intermedi ed un peso proprio della struttura ridotto rispetto ai sistemi tradizionali massivi, che mantiene comunque un buon isolamento termico ed acustico realizzato con un unico materiale, il che riduce il rischio di ponti termici.

LAPIDEI

Capitolo primo

1. LAPIDEI

I materiali lapidei, generalmente conosciuti come pietre, costituiscono buona parte della crosta terrestre; essi, fino dagli arbori della civiltà, hanno rappresentato il materiale più facilmente reperibile per costruire. Esempi insigni testimoniano le tappe dell'impiego della pietra, più o meno squadrata, per realizzare tombe, edifici di culto e fortificazioni.

L'utilizzazione di questo materiale che, a seconda della natura geologica della sua formazione, presenta caratteri e comportamenti diversi, ha di fatto spesso condizionato, dando loro una precisa impronta, le varie opere edificate nel corso dei tempi. Infatti, là dove la pietra era facilmente disponibile, più ampia ne è stata l'utilizzazione, mentre le condizioni di disagio al cavamento e ancor più la distanza da luoghi di impiego, hanno fatto indirizzare le prime popolazioni verso orientamenti costruttivi diversi. I materiali lapidei usati nelle costruzioni presentano generalmente una notevole resistenza alla compressione, sono scolpibili e hanno un alto grado di durevolezza. Queste caratteristiche hanno consentito nel tempo, a distanza di millenni, che giungessero a noi quasi inalterati, monumenti megalitici e ciclopici di accurata costruzione che ci permettono di leggere sia i costumi che il grado di civiltà raggiunto dagli antichi costruttori. Basta pensare ai menhir, alle piramidi, alle fortificazioni di Tirinto, alle tombe di Micene, ecc., per capire quanta importanza abbia avuto la pietra nelle costruzioni. Quando poi il perfezionamento delle tecniche di cavamento e di lavorazione, nonché la conoscenza di varietà di pietre, come i marmi, i travertini, gli alabastri, gli onici ecc., hanno permesso la possibile utilizzazione di varie qualità, si sono raggiunti modelli costruttivi di altissimo livello artistico come l'architettura greca e romana stanno dimostrando. Nel susseguirsi dei gusti e delle condizioni di vita che seguirono a questo periodo, la pietra rimase comunque l'elemento fondamentale per realizzare strutture robuste addolcendosi di volta in volta con la lavorazione, e raggiungendo poi, nel periodo gotico, un tale fraseggio espressivo che solo l'alta preparazione di maestranze specifiche poteva consentire. Le pietre, hanno poi perduto gradualmente nel tempo gran parte della loro importanza, venendo ad assumere, attualmente, una marginale collocazione fra i principali materiali murari. Ciò in conseguenza della loro natura eterogenea, degli alti oneri di cavamento e di lavorazione, dei costi di trasporto, legati anche all'elevato peso specifico e dell'incidenza rilevante sull'economia delle costruzioni. Questi materiali sono oggi utilizzati in ruoli secondari, lasciando ad altri, quali i calcestruzzi, i laterizi e l'acciaio, le preminenti funzioni strutturali.

Perdendo piano importanza come elementi strutturali e portanti, sono state traslate fra i materiali da completamento e finitura, aumentando nel contempo la funzione importantissima di materia inerte per opere stradali per formazione di conglomerati, nonché quella di materia prima per la produzione di leganti. Oggi l'uso di pietre di varia qualità nelle costruzioni, non più a masselli, a bugne, a pezzatura portante è indirizzato prevalentemente verso i paramenti, le pavimentazioni, i rivestimenti, le finiture in genere e per restauri conservativi. Tenendo conto che la qualità e le modalità di impiego delle pietre sono essenzialmente conseguenza delle origini genetiche delle rocce da cui provengono, è opportuno conoscere gli aspetti preminenti, attraverso una sommaria classificazione geologica, in maniera da poterne avere un quadro esauriente, anche se sintetico.

1.1. Genesi e classificazione delle rocce

Le rocce, componenti essenziali della litosfera, sono aggregati di minerali. Quelle costituite da una specie prevalente vengono definite monomineraliche; ne è un esempio il marmo, formato quasi interamente (98-99%) da cristalli di calcite (CaCO_3); oppure la quarzite, costituita quasi unicamente da quarzo (SiO_2). Più frequenti sono però le rocce polimineraliche, formate cioè da diverse specie di minerali.

Il metodo di classificazione più utile, al fine della conoscenza dei materiali da costruzione, è quello basato sull'origine, da cui dipendono molti caratteri di lavorabilità e di resistenza meccanica; non meno importante è inoltre la classificazione delle rocce in base alla composizione, ovvero alle specie minerali e alla struttura aggregativa, dalla quale dipendono molte caratteristiche chimiche e fisiche.

A seconda della loro formazione nella dinamica della crosta terrestre, le rocce si suddividono in tre grandi categorie: magmatiche, sedimentarie e metamorfiche.

Le ***rocce magmatiche***, dette anche 'igne', derivano dal consolidamento, in seguito al raffreddamento, di masse rocciose allo stato fuso o liquido, provenienti da regioni profonde della crosta terrestre o del mantello sottostante, dove regnano forti pressioni ed alte temperature. Tale massa fluida, composta prevalentemente da silicio, ossigeno, alluminio, calcio, magnesio, sodio, potassio e ferro, prende il nome di magma, finché contiene anche gas disciolti; se invece raggiunge la superficie terrestre liberando i gas viene detta lava.

A seconda delle condizioni di raffreddamento si distinguono tre gruppi di rocce magmatiche:

1. *Intrusive* o plutoniche, cioè formate dalla solidificazione e cristallizzazione del magma avvenuto all'interno della crosta terrestre, poste quindi a una certa profondità. In queste

condizioni il raffreddamento è molto lento e si possono formare grossi cristalli, visibili ad occhio nudo. Queste rocce hanno una struttura macrocristallina (olocristallina). Le rocce intrusive possono venire alla superficie a causa dei movimenti della crosta terrestre e degli effetti demolitivi degli agenti meteorici sulle rocce soprastanti. La struttura delle rocce intrusive è detta granitoide, dei *graniti* che è l'elemento più rappresentativo, oltre alle *seniti*, le *dioriti*, i *gabberi*, le *peridotiti*.

2. *Effusive* o vulcaniche, che hanno origine per il raffreddamento veloce dei magmi o lave, saliti in superficie allo stato pastoso o liquido attraverso i condotti vulcanici e che si sono solidificati e cristallizzati all'esterno, sulle terre emerse o sul fondo oceanico; Il raffreddamento è veloce e non si possono formare macrocristalli. Le rocce effusive vengono classificate in *rocce effusive sialiche*, ossia ricche di SiO₂ (silice) in una percentuale intorno al 65% e *rocce effusive femiche* con un contenuto più basso di SiO₂ (tra il 42% e il 55%). Le rocce sialiche sono dette anche acide, mentre quelle femiche sono dette basiche. Le più diffuse sono quelle effusive basiche. In particolare, è molto diffuso il basalto.

Avremo varie strutture in base alle condizioni di raffreddamento e composizione della lava:

- *Struttura microcristallina*, formata da minerali microscopici non visibili ad occhio nudo. Tipica di un raffreddamento veloce della lava, che non ha permesso ai singoli cristalli di crescere. Roccia di questo tipo è il *basalto*;
- *Struttura vetrosa*, dovuta ad attività vulcanica esplosiva, e al raffreddamento molto veloce, dove i silicati non formano cristalli ma miscele (ossidiana), da non permettere la formazione di nessun tipo di minerale. Rocce di questo tipo sono l'*ossidiana*;
- *Struttura pomice*, la roccia sembra una spugna rigida (*pietra pomice*), dovuta all'attività esplosiva con fughe di gas che lasciano delle lacune; Deriva da una lava in cui, oltre al raffreddamento veloce, si è anche verificata una veloce perdita dei componenti gassosi. Per cui si evidenzia una struttura fortemente soffiata e microvacuolare;
- *Struttura porfirica*, le rocce derivano da una lava in cui sono presenti dei minerali che hanno un punto di fusione più alto rispetto agli altri, quindi solidificano prima. La roccia presenta dei cristalli visibili ad occhio nudo (fenocristalli) immersi in una pasta vetrosa o microcristallina. Le rocce che evidenziano spesso questa struttura sono l'*Andesite* e la *Trachite*.

3. *Ipoabissali* o Filoniane, formate dal consolidamento di piccole intrusioni di magma, senza fuoriuscita dalla crosta terrestre e a non grande profondità, in condizioni di raffreddamento intermedie fra le rocce intrusive ed effusive. La roccia risulta generalmente formata da minerali piccoli ma visibili ad occhio nudo, mediamente della stessa grandezza.

Esempio classico di questa struttura è il *porfido*.

E' possibile classificare le rocce eruttive in base al tipo di magma che le ha originate:

- *Rocce sialiche od acide*: alcuni magmi, detti sialici sono molto ricchi di silice e di alluminio per cui le rocce da essi originate presentano evidenti cristalli di quarzo (SiO_2) ed alluminosilicati. La silice totale supera il 65 % della massa. Il colore delle rocce è in genere chiaro;

- *Rocce femiche o basiche*: originano da fusi, detti femici, che sono meno ricchi di silice ma con presenza di silicati di calcio, magnesio e ferro. Gli alluminosilicati sono pochi e la silice totale non supera il 52 % in massa. Il colore di queste rocce è scuro e non si evidenziano, ovviamente, cristalli di quarzo;

-*Rocce neutre*: derivano da magmi nei quali i silicati e gli alluminosilicati sono in equilibrio. Il contenuto totale di silice è tra il 52 ed il 65 %;

-*Rocce ultrabasiche o ultrafemiche*: rocce molto scure formate, per lo più, da silicati di magnesio e ferro. La silice totale non supera il 45 % in massa;

A seconda del tipo di consolidamento, uno stesso magma può dare origine a rocce appartenenti a questi tre gruppi, distinguibili tra loro dalla struttura e tessitura, vale a dire dal genere, forma, dimensioni e tipo di aggregati dei componenti minerali.

La struttura è visibile a occhio nudo solo nelle rocce costituite da elementi grandi, altrimenti è osservabile al microscopio polarizzatore, oppure al microscopio elettronico. Una prima distinzione della struttura rocciosa dipende dalle dimensioni dei granuli dei minerali. Le rocce originate per lento raffreddamento hanno generalmente una struttura macrocristallina, sono cioè formate interamente da cristalli grandi, visibili a occhio nudo. Se i minerali hanno dimensioni pressoché uguali la struttura la struttura si dice anche granulare o pavimentosa. Questo tipo di struttura si trova nelle rocce magmatiche intrusive, come i graniti; il lento raffreddamento del magma permette una crescita ordinata dei cristalli in ogni minerale, che possono raggiungere anche dimensioni considerevoli.

Le rocce effusive, poiché si sono raffreddate rapidamente, sono invece formate da minerali più piccoli; la loro struttura si dice perciò microcristallina se i cristalli sono visibili con una lente e cripto cristallina se essi sono visibili solo al microscopio, come in molti basalti.

Un altro tipo di struttura è caratterizzata dalla presenza di pochi cristalli grandi detti fenocristalli immersi in una pasta di fondo cripto cristallina o vetrosa, cioè amorfa. Questa struttura si dice porfirica ed è tipica dei porfidi, i quali possono essere sia di origine effusiva, sia filoniana.

Alcune rocce effusive hanno una particolare struttura detta intersertale nella quale piccoli cristalli allungati formano un fitto intreccio i cui vuoti sono occupati da pasta cripto cristallina o vetrosa.

Vi sono infine rocce effusive formate completamente da una massa vetrosa, come le ossidiane, la cui struttura si dice anche ialina, oppure come le pomice, che presentano una particolare struttura detta pomicea, caratterizzata da un aspetto spugnoso, ricco di bolle; esse derivano infatti dal raffreddamento veloce del magma, cioè materiale contenente anche sostanze gassose.

Le rocce magmatiche, qualunque sia la loro struttura non presentano direzioni di disorientamento dei minerali, o piani di prevalente saldabilità, ma soltanto fratture sferico-concentriche o radiali, dovuti a ritiri differenziali della massa rocciosa durante il raffreddamento.

Tipo di roccia magmatica	Rocce intrusive	Rocce effusive
Rocce sialiche o acide SiO ₂ > 65 %	Granito	Riolite Porfido quarzifero Ossidiane Pomice
Rocce femiche o basiche SiO ₂ < 52 %	Gabbro	Basalto Leucite
Rocce neutre SiO ₂ 52 - 65 %	Diorite Sienite	Andesite Trachiti
Rocce ultrabasiche SiO ₂ < 45 %	Peridotite	

Tab.1. Rocce magmatiche

Principali rocce magmatiche da costruzioni:



- Graniti: costituenti principali sono il quarzo, l'ortoclasio (feldspato potassico) di colore bianco o grigiastro e le miche bianche o nere. I graniti più importanti fanno capo a due gruppi: i graniti normali, a cristalli regolari ed i graniti porfiroidi con grossi cristalli di ortoclasio. I graniti sono molto compatti ed hanno resistenza alla compressione di 800 -2000 kg/cm² .
I graniti formano il 95 % circa delle rocce magmatiche intrusive. Giacimenti più usati in Italia: Bavero (rosa), Arcipelago toscano (grigio), Montorfano di Novara (bianco), Nuoro (verde nerastro);



- Rioliti (lipariti): struttura porfirica, costituiti da ortoclasio, biotite e quarzi, pasta di fondo microcristallina o vetrosa. Buona resistenza meccanica. Commercialmente sono detti porfidi;



- Sieniti: Il nome deriva da Syene in Egitto ove esistono le grandi cave dei faraoni; costituiti da feldspati ed anfiboli (silicati di magnesio e calcio ed ossidi di ferro). Hanno colore scuro, rossastro, ottima resistenza all'usura e buona resistenza alla compressione, 800 -1500 Kg/cm²;



- Leucititi: roccia femica, formata da leucite e pirosseni con presenza di biotite ed altri minerali. Presentano struttura porfirica; utilizzate per pavimentazione;



- Dioriti: costituiti da anfiboli, pirosseni (inosilicati di Ca, Mg, Fe, Mn ed altri metalli) e plagioclasti (tectosilicati). Aspetto granulare, di colore scuro (fino al nero) è usata per architettura funeraria. Ha buona resistenza. Si cava verso Novara, in Valle Camonica e presso Ivrea;



- Andesiti: corrispondenti effusive delle dioriti. Dette anche porfiriti. Comprendono i porfidi rosso e il porfido verde antico;



- Porfidi: Suddivisi in granitici e quarziferi; costituiti da quarzo, miche ed ortoclasio. Sono duri, tenaci, difficilmente lavorabili e con resistenza alla compressione simile a quella dei graniti. Si presentano di colore rosso bruno (porfido del Gleno) o verdastro (Castelrotto di Sarentino). Si usano per lo più blocchetti o lastre per pavimentazione stradale, per spaccatura delle lastre di facile cavamento sia nel Trentino che nell'Alto Adige. Varietà note sono il Rosso della Valsassina (Como) e quello sanguigno di Rogno (Bergamo);



- Trachiti: costituiti da ortoclasio, miche in pasta microcristallina e, a volte, quarzo; colore giallo-verdognolo, discreta resistenza alla compressione, fino a 1200 Kg/cm². Utilizzati principalmente per pavimentazione. Sono anche dette porfidi sienitici. Abbondano in Italia nelle zone vulcaniche attive e spente. Tipico è il piperino cavato presso Napoli, che rappresenta la pietra da costruzione del napoletano;



- Basalti: formati da olivine (silicati di Mg e Fe), pirosseni e plagioclasio. Colore scuro verde o nero, ottima resistenza e tenacità. Utilizzati principalmente per pavimentazioni. La maggior parte dei fondali marini è costituita da basalti. I basalti e le andesiti costituiscono il 98 % circa delle rocce magmatiche effusive. In Italia si trovano nel Trentino, nel Vicentino e in Sardegna;



- Pomice: porosa con molti vacuoli, costituita da cristalli di quarzo, sanidino (ortoclasio); presenta una bassa densità;



- Ossidiana: composizione vetrosa massiccia, frattura concoide, rari cristalli. Costituita da vari minerali e da ossidi di ferro (magnetite ed ematite) dispersi nella massa vetrosa, alla quale impartiscono una colorazione nerastra.

Fig.1. Principali rocce magmatiche da costruzione

Le **rocce sedimentarie**, sono chiamate anche ‘esogene’ e costituiscono la maggior parte della crosta terrestre; sono formate da accumuli di materiale proveniente dal disfacimento di altre rocce o da depositi di natura organica, ovvero anche per trasformazione chimica di rocce preesistenti (carsismo). Questa grande categoria di rocce è la più importante, non solo per la diffusione ma anche per la varietà dei suoi impieghi. La formazione di una roccia sedimentaria può essere suddivisa in quattro fasi, che rappresentano il cosiddetto *ciclo sedimentario*:

1. *Alterazione ed erosione* delle rocce preesistenti sulla superficie terrestre con formazione di detriti solidi e di sostanze in soluzione. Le sedimentarie clastiche o ‘detritiche’ hanno origine dall’accumulo di frammenti provenienti dalla disgregazione di altre rocce più antiche, oppure di resti di esseri viventi. I fenomeni di erosione dipendono dall’atmosfera, e possono essere dovuti a molte cause:

- *L’erosione di tipo meccanico* è legata agli sbalzi termici o all’azione dell’acqua, che penetrando nelle spaccature delle rocce ne provoca la frammentazione tramite fenomeni di gelo e disgelo;

- *L’erosione di tipo chimico* agisce sulle rocce alterando determinati minerali o separandone le componenti solubili in acqua;

- *L’erosione di tipo biologico* è legata all’azione di organismi animali e vegetali.

I processi fisici causano una modificazione delle proprietà fisiche della roccia senza cambiamenti di composizione chimica e mineralogica (es., cicli gelo-disgelo, azione del vento, ecc.). I processi chimici portano a cambiamenti nella composizione della roccia e nelle sue proprietà con perdita dei caratteri originari (varia quindi la composizione chimica totale); esempi di alterazione chimica sono quelli attribuibili al carsismo, alla lisciviazione operata dalle piogge acide. I processi biologici sono riconducibili alla azione diretta di organismi (animali, vegetali, funghi e batteri) che possono produrre una alterazione sia di tipo fisico sia di tipo chimico. I tre processi agiscono quasi sempre contemporaneamente, in modo particolare nelle zone caratterizzate da clima caldo ed umido.

2. *Trasporto* del materiale detritico e di quello in soluzione ad opera prevalentemente dei fiumi, dei venti, dei ghiacciai, con conseguente formazione di sospensioni di varia natura. Il trasporto del materiale detritico può avvenire o per gravità (frane sub-aeree e sottomarine, colate), o ad opera delle acque continentali (fiumi, acque di scorrimento superficiali), delle correnti marine,

dei ghiacciai e del vento. Il trasporto del materiale in soluzione avviene esclusivamente ad opera dell'acqua. L'azione di trasporto produce normalmente l'arrotondamento degli spigoli dei clasti, ne induce la classificazione (suddivisione e raggruppamento in base all'omogeneità delle dimensioni) e, talvolta, orientazione preferenziale (questo soprattutto in presenza di clasti di forma allungata). La durata del trasporto influisce:

- sulla forma degli elementi detritici (sempre più sferica o a contorni arrotondati man mano che ci si allontana dal luogo di origine);
- sulle dimensioni (sempre minori);
- sulla composizione mineralogica. Questo aspetto è molto importante e permette di definire il concetto di maturità di un sedimento: un sedimento è considerato maturo quando contiene solo minerali stabili nelle condizioni tipiche del processo sedimentario in atto.

3. *Deposizione*, sedimentazione, del materiale in ambiente continentale e/o marino. La sedimentazione avviene per strati successivi di cui, talvolta, rimane testimonianza. Allo stesso modo della alterazione, la sedimentazione può avvenire per via meccanica, chimica e biochimica. La sedimentazione meccanica riguarda il materiale detritico (quindi il materiale che si trova in sospensione) e si differenzia in base all'ambiente in cui avviene (marino, fluviale, glaciale, ecc.). È legata alla perdita della capacità di trasporto del mezzo (acqua, vento, ghiaccio) per diminuzione di energia. Ad esempio all'ingresso di un fiume nel mare, la corrente subisce una brusca diminuzione di velocità che favorisce la sedimentazione dei detriti trasportati.

La sedimentazione chimica riguarda il materiale trasportato in soluzione ed è legata principalmente a variazioni della temperatura e del chimismo della soluzione stessa.

La sedimentazione biochimica riguarda prevalentemente il materiale trasportato in soluzione (ad esempio il carbonato di calcio) che può essere fissato da organismi acquatici (molluschi, brachiopodi, coralli, foraminiferi) per la formazione del proprio guscio. I gusci, dopo la morte degli animali, si depositano e si accumulano nei fondali, dando luogo ad una deposizione meccanica. Caratteristica della sedimentazione è la disposizione dei materiali in strati successivi, ciascuno riconducibile ad un singolo episodio sedimentario. Le differenze composizionali e/o strutturali tra gli strati dipendono prevalentemente dalla variazione nella composizione del materiale trasportato e dalla variazione della velocità di sedimentazione.

4. *Diagenesi*, l'insieme delle trasformazioni subite da un sedimento dopo la sua deposizione, durante e dopo la sua litificazione dei sedimenti, ossia la formazione della roccia dovuta prevalentemente alla pressione esercitata da altri sedimenti che si accumulano in successione, oppure a forze di altra natura in grado di indurre la formazione di un corpo solido.

La diagenesi comporta dapprima una compattazione dei materiali dovuta alla sovrapposizione degli stessi, fino alla riduzione degli spazi interstiziali e, quindi, alla cementazione, processo per cui sostanze in soluzione acquosa precipitano negli interstizi, riempiendoli e cementando le particelle sedimentarie. I cementi sono, in genere, costituiti da calcite, silice ed ossidi di ferro.

La diagenesi non comprende le trasformazioni più profonde, dette metamorfiche, e gli eventuali processi di alterazione ed erosione successivi alla litificazione.

Immediatamente dopo la sedimentazione ha inizio la diagenesi, cioè quell'insieme di processi chimici e fisici che portano alla formazione della roccia vera e propria implicando mutamenti di composizione e di tessitura. La temperatura che si può raggiungere durante la diagenesi è inferiore ai 200°C (a temperature superiori si parla già di metamorfismo).

I processi diagenetici si distinguono, in ordine cronologico, in due:

- Processi iniziali, hanno luogo dal momento della sedimentazione fino a un modesto seppellimento; in questa fase può essere molto intensa l'azione batterica.
- Processi tardivi, hanno luogo durante un seppellimento più profondo.

La durata complessiva dei processi diagenetici è normalmente delle decine di milioni di anni.

Durante la diagenesi possono essere distinte tre differenti fasi:

- 1 - La *compattazione*, dovuta al peso dei sedimenti sovrastanti che provoca la fuoriuscita delle acque interstiziali e l'avvicinamento dei singoli grani;
- 2 - La *ricristallizzazione*, che coinvolge alcuni minerali instabili presenti nel sedimento;
- 3 - La *dissoluzione* e la *sostituzione*, che interessano alcuni minerali che possono disciogliersi o essere sostituiti da altri minerali. Quest'ultimo è un processo molto importante nella formazione delle rocce che definiremo di precipitazione chimica. La precipitazione di nuovi minerali nello spazio fra i grani del sedimento è detta autigenesi; se la precipitazione è abbondante si ottiene la cementazione del sedimento stesso.

Dopo il trasporto, che avviene in soluzione chimica o in sospensione nel ruscellamento, il deposito può avere luogo per gravità degli elementi litici distaccati dalla roccia madre, oppure per saturazione delle soluzioni in bacini dove le acque rallentano il movimento (pianure alluvionali, laghi, coste marine).

Vengono a formarsi diversi gruppi:

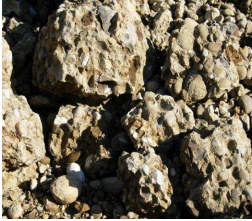
a) **Rocce clastiche**, sono comprese tutte le rocce sedimentarie costituite dall'insieme del materiale frammentario, fine e grosso, derivato da rocce preesistenti disgregatesi per effetto degli agenti esterni. Le caratteristiche di queste rocce sono assai dissimili fra loro a seconda se dopo la frantumazione originaria e il loro trasporto e accumulo sono rimaste sciolte o incoerenti oppure se si sono nuovamente cementate.

Le rocce sedimentarie clastiche possono corrispondere a sedimenti sciolti, cioè non litificati, e in tal caso prendono il nome di rocce *incoerenti*; ne sono un esempio un deposito morenico, una spiaggia marina, un banco di argilla. Se tali sedimenti vengono ricompattati si trasformano in formazioni rocciose *coerenti*. Tale processo detto diagenesi, può avere luogo per costipamento, cioè in seguito alla compressione esercitata dal peso di altre rocce soprastanti, oppure per cementazione, vale a dire per il deposito di minerali, per lo più carbonati, trasportati in soluzione dall'acqua e ridepositati negli spazi fra i granuli sciolti. Sia i sedimenti incoerenti, sia le corrispondenti rocce litificate vengono classificati in base alle dimensioni dei clasti che lo compongono. Prendono così il nome di *ruditi* le rocce costituite da elementi di dimensioni superiori ai 2 millimetri; esse si suddividono in *brecce*, derivate dalla litificazione di clasti angolosi e in *conglomerati*, formati invece da ciottoli arrotondati. Le *areniti* o *arenarie* sono invece costituite da clasti di dimensioni comprese fra i 2 millimetri e i 63 micron, e derivano dalla litificazione di sabbie. Le *silititi* originate per diagenesi dei silts, o limi, sono costituite da clasti con dimensioni comprese fra i 63 e i 4 micron, sono prevalentemente costituite da minerali argillosi.

Principali rocce clastiche da costruzioni:



- Le brecce: il loro sedimento è formato da ghiaia. Risultano ciottoli a spigoli vivi. Sono caratterizzati da bassa maturità tessiturale in quanto i granuli sono mal classati, e possiedono dimensioni diverse tra loro. Questo potrebbe essere dovuto a un 'trasporto' non lungo che non ha permesso un buon arrotondamento. Sono usate come pietre da rivestimento e pavimentazioni. Sono note la breccia di Stazzema (Versilia), la breccia Medicea (Carrara), la breccia Aurora del Bresciano, la Macchiavecchia del Varesotto;



- Le puddinghe: Conglomerati nei quali i ciottoli sono arrotondati con maggiore maturità tessiturale, indice di un trasporto più lungo. Sono pietre molto dure per la loro composizione silicoquarzosa. Sono noti i ceppi lombardi e il Verrucano di Pisa;



- Le arenarie: sono costituite da sabbie cementate con clasti compresi tra 1/16mm e 2mm. I granuli sono di quarzo feldspati o frammenti litici (di altra roccia); tenuti insieme da una matrice costituita da granuli più piccoli di altri minerali o da un cemento formatosi dalla precipitazione di minerali in soluzioni sovrasature (silice, calcite). Generalmente stratificate, hanno aspetto ruvido e colore variabile a seconda dei costituenti;



- Gli scisti: sono rocce a grana medio - grossa caratterizzata da una tessitura abbastanza marcata, cioè tendente a sfaldarsi facilmente in lastre sottili. Lo scisto è il risultato della trasformazione di argilla sottoposta ad alte pressioni e temperature nella quale i cristalli micacei (che rappresentano generalmente circa il 50% dello scisto) si ordinano in una direzione precisa creando delle falde dette appunto piani di scistosità;



- Le rocce sedimentarie piroclastiche: sono un particolare tipo di rocce clastiche formatesi in seguito alla cementazione, dopo il deposito, di detriti rocciosi prodotti da attività vulcaniche di tipo esplosivo. A questo gruppo appartengono i tufi e le breccie vulcaniche. Queste rocce coerenti hanno una struttura clastica, caratterizzata cioè dalla presenza di minerali e/o frammenti di rocce più antiche, più o meno selezionati per dimensioni e da un cemento che le unisce. La più nota delle rocce piroclastiche è la Pozzolana: roccia granulare simile alla sabbia che si trova in prossimità delle zone vulcaniche presso Pozzuoli. Deriva da ceneri scorie vulcaniche sedimentate e modificate per l'azione di agenti esogeni; sono principalmente costituite da silice, ossidi di alluminio che insieme arrivano al 70% circa e da ossidi di ferro e di metalli alcalini. Il colore è vario, secondo la composizione, dal grigio al rosso-bruno.



I *Tufi*: sedimenti coerenti costituiti da sabbie, ceneri e scorie vulcaniche; il cemento è per lo più calcareo o costituito da ossidi di ferro. A seconda che risultino formati prevalentemente da frammenti litici, da vetri o da cristalli, si hanno i tufi litici, i tufi vetrosi o amorfi e i tufi cristallini. Il colore varia dal grigio al bruno; spesso presentano visibili cristalli di biotite, olivina ed altri minerali. Particolare importanza ha avuto nelle costruzioni il tufo peperino.

Fig.2. Principali rocce clastiche da costruzione

b) **Rocce sedimentarie di origine chimica**, si formano invece per precipitazione diretta da soluzioni sature derivate dall'alterazione di rocce più antiche. Fra queste si distinguono quelle *carbonatiche*, formate da carbonato di calcio (CaCO_3), che è puro nei *calcari*, nei *travertini*, nell'*alabastro calcareo*, oppure combinato con magnesio nelle *dolomie* e nei *calcari dolomitici*. Un altro tipo di rocce sedimentarie di origine chimica sono le *evaporiti*, formate in seguito a precipitazione di sali per evaporazione del solvente; oltre al *salgemma*, vanno ricordate anche l'anidride e il *gesso*, di notevole importanza fra i materiali da costruzione.



Alabastro calcareo

Travertino

Rocchia calcarea

Calcarea dolomitico

Fig.3. Rocce sedimentarie

c) **Rocce sedimentarie organogene**, derivano invece dall'accumulo di resti animali, quali gusci o scheletri, costituiti da carbonato di calcio oppure da silice. Spesso è difficile distinguere, fra le rocce sedimentarie, quelle di origine chimica da quelle organogene, perché talora le due componenti si alternano, come nel caso delle dolomie. In base alla composizione le rocce organogene si suddividono a loro volta in *carbonatiche* o calcaree, come i calcari conchiliferi, le madrepori, i coralli e in silicee, fra le quali vanno annoverate le radiolariti le diatomiti e i diaspri. Le rocce sedimentarie presentano sempre, in conseguenza della loro genesi, formazioni stratigrafiche: ogni strato corrisponde infatti a un deposito del ciclo sedimentario; molto spesso i granuli di forma appiattita si presentano disorientati. La classificazione delle rocce sedimentarie si opera in base all'origine delle stesse:

- *Rocce sedimentarie terrigene o clastiche*, da sedimentazione meccanica. Possono essere incoerenti, ovvero formate da particelle sciolte oppure coerenti quelle formate da particelle cementate;
- *Rocce sedimentarie di origine chimica*, da precipitazione chimica di sostanze chimiche disciolte in acqua quando tali sostanze superano il limite di solubilità ;
- *Rocce sedimentarie di origine organica*, da precipitazione di sostanze minerali presenti in alcune strutture viventi, quali gusci, scheletri, o per mineralizzazione di altre sostanze biologiche. A questi processi seguono, solitamente, compattazione e cementazione.

Rocce clastiche psefitiche (> 2) Incoerenti	Rocce clastiche psefitiche (> 2) coerenti	Rocce clastiche psammitiche (0.06 - 2) incoerenti	Rocce clastiche psammitiche (0.06 - 2) coerenti	Rocce clastiche pelitiche (0.003-0.06) incoerenti	Rocce clastiche pelitiche (0.003-0.06) coerenti	Rocce ad origine chimica	Rocce ad origine organogena
Blocchi	Conglomerati	Sabbie	Arenarie	Fanghi	Siltiti	Calcarei	Dolomie
Ciottoli	Brecce			Limo	Argilliti	Dolomie	Calcarei organogeni
Ghiaie	Puddinghe				Marne	Evaporiti	Selci stratificate
	Oficalce				Argille	Fosforiti	Asfalto
	Marne					Noduli di Fe e Mn	Carboni fossili
						Travertini	Diatomiti
						Diaspro	Tripoli
							Guano

Tab.2. Rocce sedimentarie

Principali rocce sedimentarie da costruzione:



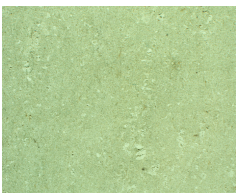
- Puddinghe: conglomerati costituiti da ciottoli di varia dimensione (4 - 60 mm) per lo più arrotondati dispersi in una matrice fine di tipo arenario; cemento scarso di tipo siliceo, argilloso o carbonatico. Colori vari da grigio chiaro al rosso. Utilizzato come materiale complementare;



- Breccie: ciottoli di dimensioni simili ai precedenti, ma ad angoli spigolosi e dispersi in una matrice e in un cemento fini argillosi o calcarei. Colori variabili, dal giallo al rosso al nero. Es. breccia di Sarravezza, breccia di Bergamo (fattino), breccia pernice. Utilizzata come complementare e, alcune varietà, per colonne e sostegni;



- Arenarie: granuli tra 0.06 e 2 mm, di solito arrotondati costituiti da diversi minerali quali i feldspati, il quarzo, minerali argillosi, miche, epidoti, serpentino. La matrice è irregolare ed il cemento, scarso, può essere di tipo siliceo (quarzo), carbonatico (calcite o aragonite) o ematitico. Le arenarie hanno diversa resistenza alla compressione, da 400 a 1300 Kg/cm², e sono utilizzate principalmente per pavimentazioni. Le più importanti arenarie a cemento siliceo sono le quarziti sarde; le più importanti a cemento carbonatico la pietra serena e la pietra di Sarnico;



- Oficalce: frammenti angolosi di diverse dimensioni, cemento bianco o roseo per lo più di calcite, rari ammassi di quarzo e, a volte, zone di serpentino con ematite. Colore verde o rossastro, dovuto all'ematite. Utilizzato come pietra ornamentale per rivestimenti. Molto note le varietà rosso di Levanto e verde Polcevera;



- Marne: clasti a grana fine o finissima di calcite e dolomite con cemento argilloso; presenza di concrezioni fossili e fessure, frammenti silicei; colore grigio chiaro o scuro. Sono dette anche calcari argillosi; con il progressivo aumento del CaCO₃ la marna passa a marna calcarea e a calcare marnoso. Al contrario, con il progressivo aumento dell'argilla passa a marna argillosa e poi

ad argilla marnosa. Utilizzate come pietrisco da inerte o come pietra per la produzione di calce idrauliche e cementi;



- Travertini: originano per precipitazione chimica di acque fortemente carbonatiche; tessitura molto irregolare con frequenti concrezioni e vacuoli, colore giallo chiaro o rossastro. Costituito principalmente da calcite e/o aragonite in cristalli anche grossi; può contenere argille e limonite. Resistenza alla compressione di circa 500 kg/cm² ; utilizzato, per lo più, in lastre da rivestimento;



- Gesso: grana finissima, a volte farinosa con singoli cristalli anche voluminosi; colore bianco grigiastro o colorato per la presenza di altri minerali. Costituita in prevalenza da CaSO₄ biidrato ma anche da anidrite, solfato di calcio anidro. Viene utilizzata per la produzione del gesso. Una varietà particolare, l'alabastro gessoso di Volterra ha struttura microcristallina, colore bianco avorio o giallo-verde ed ha particolare pregio come pietra ornamentale;



- Calcari: derivano dall'azione di organismi viventi; possono presentare evidenti inclusioni fossili organogeni e sono costituiti da calcite, prevalente, e da dolomite ed aragonite. Una particolare varietà, detta calcare compatto ha particolare pregio nelle costruzioni, essendo utilizzato come marmo; presenta una grana compatta, fine, spesso brecciata e con alcune concrezioni, colori diversi a seconda dei minerali accessori; in prevalenza è costituito da calcite. Le varietà più note sono il botticino di Brescia di colore bianco-giallo, utilizzato per colonne e vasche, il chiampo di Vicenza nummulitico, la pietra di Finale bianca o giallastra, la pietra di Trani biancastra e utilizzabile in grosse lastre, il calcare maiolica di Bergamo , il portoro del Piemonte nero con venature gialle. Resistenze alla compressione fino a 1300 kg/cm²;



- Dolomie: tessitura da granulare a saccaroide, costituita da prevalente dolomite con calcite e presenza di cristalli di quarzo e di argille; colore bianco grigiastro o giallo-rosso in relazione ai minerali accessori. A seconda del rapporto

dolomite-calcite si hanno le dolomie pure con calcite < 10 %, dolomie calcaree con calcite 10-50 % e calcari dolomitici con calcite > 50 %. Resistenza alla compressione fino a 1100 kg/cm², utilizzate come pietre da pietrisco per massicciate, come inerti per calcestruzzi o per la preparazione di calci idrauliche;



- Ghiaie e pietrischi: rocce incoerenti; le ghiaie presentano spigoli arrotondati, superfici lisce, dimensioni > 2 cm; i pietrischi hanno elementi a spigoli vivi, dimensioni irregolari tra 2.5 e 7 cm. Clasti di dimensioni inferiori, 1-2 mm di diametro, costituiscono il pietrischetto. Il peso specifico di questi inerti varia da 1100 a 1600 Kg/m³. Sono utilizzati come inerti in calcestruzzi, conglomerati bituminosi, in massicciate stradali;



- Sabbie: elementi a spigoli vivi non superiori ai 5-6 mm. Le sabbie presenti nelle acque dolci o marine sono dette sabbie vive. Le sabbie migliori sono le sabbie di fiume in quanto esenti da sali. Le sabbie possono anche originare da depositi alluvionali, sabbie di cava, meno pregiate in quanto contengono variabili quantità di argilla e sostanze organiche. Sabbie possono originare dalla frantumazione artificiale di pietrischi, sabbie da pietrisco. Le sabbie possono essere divise in silicee, calcaree e granitiche a seconda della roccia originaria; le migliori sono le sabbie silicee.

In base alla granulometria si distinguono sabbie grosse 2 - 5 mm, sabbie medie 0.5-2 mm e sabbie fini < 0.5 mm. Le sabbie debbono essere confrontate, secondo la N.A.M.C., con la sabbia del lago di Massaciuccoli, sabbia silicea a granuli tondi;



- Argille: rocce sedimentarie terrigene pseudocoerenti costituite da una matrice detritica, a composizione variabile, nella quale sono disperse particelle lamellari o fibrose di uno o più minerali, idrosilicati cristallizzati oppure amorfi, generalmente di alluminio o magnesio, a volte di ferro; questi sono caratterizzati da un reticolo cristallino costituito da strati di tetraedri [SiO₄]⁴⁻ e da strati di ottaedri, al centro dei quali si trovano gli atomi metallici, coordinati da 6 atomi

di ossigeno che ne occupano i vertici. Secondo il modo in cui gli strati tetraedrici ed ottaedrici formano il reticolo si determinano diversi tipi strutturali, i silicati a due o tre strati, i silicati a strati misti, i silicati a catena semplice o doppia. Gli idrosilicati derivano dai principali feldspati (ortoclasio, albite, anortite) per un processo detto caolinizzazione; questa è una solubilizzazione dei composti citati sotto forma di carbonati, con perdita di silice. Gli idrosilicati più importanti presenti nelle argille sono la caolinite ($Al_2O_3 \times SiO_2 \times 2H_2O$) e la montmorillonite [$(Al_2O_3 \times 4SiO_2 \times H_2O) \times nH_2O$]. Le argille possono, inoltre, contenere silice libera, carbonato di calcio, composti del ferro II e del ferro III, ossidi alcalini, sostanze organiche. Sono dette argille magre quando contengono molta sabbia ed argille grasse quando ne contengono poca. Servono per la produzione di laterizi, refrattari e ceramiche;

- Asfalti: rocce porose di tipo calcareo o arenario impregnate (6 -15 %) di bitumi provenienti da sottostanti accumuli di petrolio. I bitumi sono miscele complesse di tutti i tipi di idrocarburi e di acidi ad alto peso molecolare. Rocce asfaltiche si trovano in Sicilia (Ragusa) e in Abruzzo (Pescara). Da esse, per frantumazione e macinazione, si producono gli asfalti naturali.



Fig.4. Principali rocce sedimentarie da costruzione

Le rocce metamorfiche, derivano anch'esse da rocce preesistenti di tipo magmatico o sedimentario, che in seguito a mutate condizioni di temperatura e pressione, all'interno della crosta terrestre, hanno subito trasformazioni tali da raggiungere una ricristallizzazione dei minerali che lo costituiscono. Tale processo può dare origine a minerali nuovi, oppure a diverse forme e dimensioni di quelli già esistenti. Il grado di metamorfismo può essere più o meno elevato, a seconda delle condizioni di pressione e temperatura alle quali è avvenuto. Va sotto il nome di metamorfismo l'insieme dei processi in grado di far variare lo stato energetico di un sistema roccioso solido conducendolo ad una nuova situazione di equilibrio. Il processo metamorfico si attiva ogni qualvolta si verifica una profonda variazione delle condizioni ambientali (pressione e temperatura). È importante sottolineare che il metamorfismo avviene allo stato solido e non coinvolge pertanto fusi magmatici.

Poiché il processo metamorfico viene attivato da una variazione della pressione e della temperatura, è possibile definire diversi ambienti metamorfici e diverse tipologie di metamorfismo:

- *Metamorfismo termico o di contatto*, dovuto ad aumenti notevoli di temperatura per contatto diretto con magmi. E' caratterizzato da una più o meno evidente ricristallizzazione, da sostituzioni di minerali idrati con altri anidri e da sostituzioni di sostanze argillose, colloidali ed amorfe con elementi cristallini. E' un metamorfismo di tipo statico. E' tipico dei calcari che vengono trasformati nei marmi saccaroidi, ovvero costituiti da grossi cristalli.

- *Metamorfismo dinamico*, metamorfismo di bassa temperatura e bassa pressione, si verifica in corrispondenza di grandi faglie ed è originata da spinte e pressioni orientate; La roccia preesistente tende a frantumarsi e polverizzarsi e ciò provoca deformazioni nei reticoli cristallini dei minerali. Il grado di metamorfismo è basso.

- *Metamorfismo regionale*, metamorfismo di alta o bassa temperatura ed alta o bassa pressione, è il più diffuso, si sviluppa a grande scala ed è connesso a grandi movimenti geodinamici (tettonica zolle ed orogenesi), che spostano ammassi magmatici e sedimentari verso l'interno. Negli strati più superficiali prevale l'aumento della pressione per cui si formano rocce tipicamente *scistose*, sfaldabili in lastre secondo piani paralleli (ardesia). Nelle zone più profonde prevale l'aumento della temperatura e si formano in prevalenza rocce a struttura granulare prive, o quasi, di scistosità. Si tratta di un metamorfismo con fasi statiche e dinamiche.

- *Metamorfismo di seppellimento*, metamorfismo di bassa temperatura ed alta pressione, è determinato dalla elevata pressione indotta dall'accumulo di potenti strati di sedimenti;

- *Metamorfismo oceanico*, metamorfismo di bassa pressione ed alta o bassa temperatura, tipico dei processi distensivi nelle dorsali oceaniche;

- *Metamorfismo da impatto meteorico o meteoritico*, metamorfismo di alta temperatura ed alta pressione, geologicamente istantaneo, determinato dall'impatto con grossi blocchi di origine extraterrestre.

Le rocce metamorfiche sono molto diffuse negli zoccoli continentali e nelle catene montuose, dove si sono verificate tale condizioni.

Il metamorfismo provoca anche una variazione nella struttura delle rocce: molte assumono un aspetto scistoso, cioè caratterizzato da un isorientamento dei minerali, soprattutto di quelli lamellari, come le miche, che si dispongono perpendicolarmente alla pressione; da ciò deriva la presenza di piani paralleli, che determinano una notevole sfaldabilità. Fra le più frequenti rocce metamorfiche di aspetto scistoso vi sono: gli *gneiss*, a grana grossa, originati per metamorfismo dei graniti o di rocce clastiche da essi derivate, come le arenarie, e caratterizzati dalla stessa composizione mineralogica; i *micascisti*, a grana più fine, derivati da rocce argillose e composti essenzialmente di quarzo e miche; i *calcesicti*, a grana

fine, derivati dal metamorfismo di sedimenti calcareo-argillosi e gli *argilloscisti*, a grana finissima, originati dal basso metamorfismo di rocce argillose. Fra questi le *ardesie* liguri, particolarmente importanti fra i materiali da costruzione, sono un tipo di argilloscisto calcareo con forte isorientamento dei minerali. Un grado di metamorfismo più elevato presentano le *filladi*, anch'esse a grana finissima, particolarmente utilizzate per produrre lastre per le coperture. Piuttosto frequenti sono inoltre gli *scisti verdi*, derivati dal metamorfismo di rocce a chimismo basico e le quarziti, derivate da renarie ricche di quarzo.

Fra le rocce metamorfiche di aspetto non scistoso vi sono le *serpentiniti*, di colore verde, derivate da rocce intrusive molto basiche, tipiche del mantello che si trova sotto la crosta terrestre.

Quando l'aumento di temperatura e di pressione è tale da determinare la fusione parziale della roccia, a fondere sarà la frazione mineralogica più acida (quarzo, feldspati, muscovite). Se il fuso acido che si forma raffredda in loco, si produce una roccia formata da porzioni di roccia metamorfica rimasta solida detta paleosoma e porzioni di roccia ignea appena formatasi detta neosoma; tali rocce sono dette *migmatiti*.

La produzione di un magma in seguito ad elevato grado di metamorfismo, alta pressione ed alta temperatura, è detta anatessi. Risulta intuitivo identificare l'anatessi come il limite tra processo metamorfico e processo magmatico. In realtà questo è completamente vero solo quando il magma che si forma viene allontanato dal luogo di origine formando un sistema a sé stante; infatti le migmatiti sono considerate a cavallo tra le rocce metamorfiche e le rocce magmatiche.

La temperatura di inizio fusione o di anatessi, varia molto a seconda della composizione delle rocce, della presenza o assenza di acqua e del grado di saturazione in acqua della roccia. Risulta importante tenere presente alcune caratteristiche:

- La gradualità ed intensità delle trasformazioni mineralogiche che si verificano nell'intervallo termico del metamorfismo implicano il concetto di grado metamorfico; il grado è basso per temperature relativamente basse ed aumenta all'aumentare della temperatura;
- La quantità di componenti volatili trattenuti nei reticoli cristallini diminuisce man mano che aumenta il grado metamorfico;
- All'aumentare della temperatura e, più in generale del grado metamorfico, le dimensioni dei cristalli aumentano;
- Il grado di ristrutturazione e la quantità di volatili rimasti nei reticoli cristallini non forniscono una misura diretta e disambigua del grado metamorfico; questa informazione può essere invece fornita dalla comparsa di associazioni mineralogiche nuove.

La classificazione delle rocce metamorfiche si opera in base all'origine delle stesse:

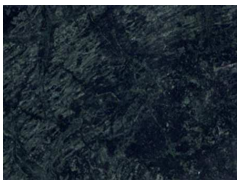
- *Rocce pelitiche*: derivano da sedimenti argillosi più o meno puri. Sono tra le più diffuse;
- *Rocce quarzoso-feldspatiche*: derivano da rocce sedimentarie arenacee, conglomerati, breccie ed anche da rocce magmatiche granitiche o granodioritiche. Il quarzo ed i feldspati predominano sugli altri minerali;
- *Rocce acide*: la diversa composizione mineralogica delle rocce eruttive dipende dalla composizione chimica dei magmi originari, che si dicono acidi se sono ricchi di silicio e alluminio ($\text{SiO}_2 > 65\%$); queste rocce sono tipiche degli zoccoli continentali. Dalla diversa composizione chimica delle rocce magmatiche dipendono alcune caratteristiche macroscopiche quali il colore: sono costituite da minerali bianchi o comunque chiari (grigio-rosa)
- *Rocce chimicamente intermedie o neutre*: sono dovute a magmi basici, che risalendo si inquinano poichè fondono rocce acide della crosta continentale; fra queste ci sono le sieniti e le dioriti, di origine intrusiva, e le trachiti e andesiti, di origine effusiva ($\text{SiO}_2 = 65-52\%$);
- *Rocce basiche*: originano da rocce magmatiche basiche (dioriti, gabbri) o da sedimenti piroclastici, meno ricchi di silicio e alluminio ($\text{SiO}_2 < 52\%$), ma con notevoli tenori di ferro e magnesio. Le rocce basiche sono tipiche dei fondali oceanici e del sottostante mantello. Dalla diversa composizione chimica delle rocce magmatiche dipendono alcune caratteristiche macroscopiche quali il colore: le rocce originate da magmi basici, ricchi di ferro e magnesio, dette *mafiche*, sono formate in prevalenza da minerali con colorazione scura (verde-nero);
- *Rocce carbonatiche*: derivano da sedimenti carbonatici di calcite e/o dolomite costituite in prevalenza da carbonato di calcio (CaCO_3). Sono abbondanti in natura e molte sono quelle utilizzate nell'edilizia, sia come materiale da costruzione, sia per produrre leganti: i calcari, le dolomie, i marmi, il travertino, l'alabastro calcareo. Le molecole di carbonato di calcio sono tenute insieme da legami ionici, pertanto le rocce carbonatiche sono attaccabili dagli acidi contenuti nelle piogge, siano essi naturali, come l'anidride carbonica, oppure dovuti all'inquinamento atmosferico, come l'anidride solforosa.
- *Rocce solfatiche*: sono costituite in prevalenza da gesso, cioè da solfato di calcio biidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Ne sono un esempio l'alabastro gessoso di Volterra, facilmente lavorabile, ma poco resistente agli agenti atmosferici e in particolare all'acqua e pertanto più utilizzato per elementi scultorei e decorativi.
- *Rocce silicatiche*: sono costituite prevalentemente da silice e da silicati. Le più importanti provengono da rocce magmatiche (graniti, sieniti, porfidi, trachiti, basalti) ma vi sono anche molte

rocce sedimentarie (arenarie, tufi vulcanici, conglomerati, argille) e metamorfiche (gneiss, micascisti, filladi).

Principali rocce metamorfiche da costruzione:



- *Ardesie*: scisti originati da argillite, di colore grigio-nero, facilmente riducibili in lastre sottilissime. Sono filladi costituite da piccolissimi cristalli di quarzo, clorite e mica con eventuale presenza di calcite. Utilizzate per coperture, piani per scale, rivestimenti, lavagne. Hanno resistenze alla compressione parallelamente agli strati di 1000 -1350 kg/cm² e perpendicolarmente agli stessi di 1400 -1600 kg/cm²;



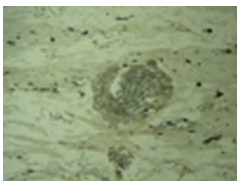
- *Serpentini*: derivano da rocce granitiche, si trovano in masse compatte, a volte scistose o fibrose. Presenza di calcite come cemento. Possono avere elevata resistenza meccanica, fino a 2000 kg/cm²; colore grigio-verde. Un particolare serpentino fibroso è l'amianto;



- *Quarziti*: roccia scistosa (micascisto) a letti sottili, costituita fino all' 80 % di quarzo, di miche, di calcite e feldspati; colore dal bianco al grigio-verde. Utilizzata per lastre da rivestimento;



- *Gneiss*: origina da rocce granitiche, presenta struttura spesso scistosa con le miche in lamine parallele; colore variabile, a seconda dei minerali accessori, per lo più chiaro; resistenza alla compressione fino a 1100 kg/cm². Utilizzati per pietre da rivestimento, gradini. Varietà pregiate sono il serizzo ghiandone e lo gneiss dello Spluga;



- *Micascisti*: scisto costituito fino al 75 % di miche e fino al 20 % di quarzo. Colore chiaro o verdolino, riducibile in sottili lastre utilizzate, per lo più, per rivestimenti;



- *Marmi*: rocce metamorfiche originate da calcari. La struttura tipicamente saccaroide li differenzia dai calcari puri, anche se molti di questi sono commercializzati come marmi. Possono avere diversi tipi di grana e possono contenere fino al 99.5 % di calcite; eventuali impurezze possono essere disperse o raggruppate in venature. Il colore può essere molto variabile, a seconda dei minerali accessori; possono essere monocromi o policromi. La resistenza alla compressione è di circa 1000 -1300 kg/cm² .

Fig.5. Principali rocce metamorfiche da costruzione

1. 2. Requisiti tecnici delle rocce

Ogni materiale lapideo che abbia impieghi nelle costruzioni, deve possedere risposdenze operative tali da giustificare l'uso. Ogni scelta progettuale, quindi, è legata alla perfetta conoscenza delle caratteristiche delle pietre prescelte.

Le diverse rocce si possono estrarre e lavorare secondo particolari direzioni di taglio e si presentano a essere impiegate con differenti funzioni; alcune sono più adatte alle strutture portanti degli edifici, altre agli elementi decorativi, altre ai rivestimenti, altre ancora alle coperture. Le possibilità di lavorazione delle rocce e le loro caratteristiche tecniche, dipendono esclusivamente dai caratteri naturali, vale a dire dalla composizione chimica e mineralogica e dalle caratteristiche fisiche.

Proprietà tecniche delle rocce:

PESO SPECIFICO: peso di roccia allo stato naturale e POROSITA', percentuali di spazi vuoti presenti nella roccia;

Tipi di rocce	Peso di volume km/dm ³	Porosità apparente %
Diorite	2.75 – 3.00	0.4 – 1.4
Graniti	2.55 – 2.90	0.4 – 1.5
Sienite	2.70 – 3.00	0.4 – 1.4
Basalti	2.75 – 3.10	0.2 – 0.9
Pomice	0.50 – 1,10	0.4 – 1.8
Porfido	2.45 – 2.70	0.4 – 1.8
Trachite	2.40 – 2.75	0.4 – 1.8
Arenarie	1.80 – 2.70	7 – 34
Calcari	2.50 – 2.80	0.4 – 2
Dolomia	2.30 -2.90	0.5 - 25
Gneiss	2.50 – 2.70	0.4 – 2
Marmi	2.70 – 2.75	0.4 – 1.8
Travertini	2.20 – 2.50	5 -12
Tufi calcarei	1.40 – 2.00	10 – 45
Tufi vulcanici	1.40 – 2.00	20 – 45

Tab.3. Peso specifico e valori di porosità delle rocce

La porosità comunicante comporta un'alta penetrabilità dell'acqua nelle rocce per imbibizione o assorbimento. La porosità non capillare, invece, alleggerisce il peso delle rocce ma non le rende capaci di assorbire acqua. Il granito, ad esempio, pur essendo molto compatto presenta molti spazi intercrystallini piccolissimi e comunicanti fra loro, nei quali l'acqua penetra lentamente. La pomice, invece, la roccia più leggera e più porosa di tutte (l'unica che può galleggiare sull'acqua), ha però una particolare porosità costituita da bolle di gas non comunicanti fra loro e immerse in una massa vetrosa che la rende impermeabile.

DUREZZA: ovvero la resistenza alla scalfittura, è una caratteristica fisica dei minerali che dipende dalla natura e dalla resistenza dei loro legami chimici. Per misurarla si utilizza una scala empirica, costruita da Mohs in modo tale che ciascuno dei dieci termini che la compongono può scalfire il precedente ed essere scalfito dal successivo:

Scala di mhos	Scala di Rosiwal
Talco	0.03
Gesso	1.25
Calcite	4.5
Fluorite	5
Apatite	6.5
Ortoclasio	37
Quarzo	120
Topazio	175
Corindone	1000
Diamante	140000

Tab.4. Scala di Mhos

Per le rocce la proprietà della durezza può comprendere diversi tipi di resistenza meccanica: all'incisione, all'usura, alla segagione. Tali proprietà dipendono soprattutto dalla durezza dei minerali costituenti; è il caso dei graniti, che pur avendo una struttura simile a quella dei marmi sono però molto più duri essendo formati da feldspati e da quarzo e non da calcite come i marmi.

La durezza di una roccia come materiale lavorabile viene considerata corrispondente alla resistenza alla segatura e in relazione a tale proprietà si utilizza la seguente classificazione empirica:

- *Rocce tenere*, sono considerate quelle facilmente tagliabili con seghe dentate d'acciaio (tufi vulcanici e calcarei, gessi e alcuni travertini);
- *Rocce semidure*, di difficile segazione tagliabili solo con seghe d'acciaio lisce, senza denti, e con sabbia quarzosa all'80 – 95 % (calcari semicompatti, argillosi e arenarie in genere);
- *Rocce dure*, tagliabili solo con seghe lisce cosparse di smeriglio (calcari compatti, marmi, serpentiniti, oficalci e arenarie forti);
- *Rocce durissime*, tagliabili solo con seghe lisce cosparse di diamante in polvere (graniti, porfidi quarziferi, sieniti ecc.).

TENACITA': proprietà fisica delle rocce che rappresenta la resistenza alla rottura per urto. Connessa con la tenacità, e, in parte con la durezza è la *scolpibilità* di una pietra che si evidenzia con la possibilità più o meno accentuata di lavorabilità con scalpelli. In funzione di ciò una pietra tenace di solito è abbastanza scolpibile anche se non molto dura, mentre una pietra fragile è più logorabile ma poco adatta alla scolpibilità anche se dura e compatta.

RESISTENZA ALLA COMPRESSIONE: attitudine a opporsi alle forze che agiscono per schiacciamento. Tale proprietà dipende sia dalla durezza dei singoli componenti (cioè dalla resistenza dei legami interni ai minerali), sia dalla struttura delle rocce (cioè dal tipo di contatti esistenti fra i vari cristalli). In genere resistono bene a compressione le rocce formate da cristalli duri, ben impilati fra loro, anche se tenuti insieme da legami deboli (come il granito).

RESISTENZA ALLA TRAZIONE: quella che i corpi oppongono alle forze che tendono a smembrarsi per stiramento. Di rado le rocce vengono poste in opera in modo da lavorare a trazione, tuttavia questa proprietà è importante perché determina quella alla flessione, che è invece piuttosto frequente negli elementi litici delle costruzioni.

Tipi di rocce	Resistenza a compressione	Resistenza a trazione
Basalto	3200 Kg/cm ²	80 Kg/cm ²
Porfido	1900 Kg/cm ²	60 Kg/cm ²
Granito	1800 Kg/cm ²	40 Kg/cm ²
Tufi	80 Kg/cm ²	10 Kg/cm ²
Gneiss	1300 Kg/cm ²	120 Kg/cm ²
Ardesia	1100 Kg/cm ²	400 Kg/cm ²
Marmo	1300 Kg/cm ²	40 Kg/cm ²
Calcere	1100 Kg/cm ²	50 Kg/cm ²
Arenaria	800 Kg/cm ²	20 Kg/cm ²
Travertino	450 Kg/cm ²	30 Kg/cm ²

Tab.5. Valori di resistenza meccanica delle rocce

Osservando la tabella dei valori si nota come la resistenza a trazione è sempre molto inferiore rispetto a quella a compressione; questo è dovuto al fatto che la resistenza a trazione dipende sostanzialmente dai legami intercrystallini, che sono sempre più deboli di quelli interni ai singoli minerali. In genere sono più resistenti le rocce a grana fine o quelle microcristalline., perché a parità di volume, aumentano le superfici dei vari cristalli e quindi i relativi legami, che sono la fonte principale della resistenza alla trazione. Essa è pertanto maggiore in un basalto, piuttosto che in un granito; inoltre è anche alta nelle tessiture intersertali e in quelle con minerali allungati come gli gneiss e le ardesie.

RESISTENZA ALLA GELIVITA': fenomeno per il quale l'acqua che riempie i pori del materiale, solidificando per l'abbassamento della temperatura sotto 0 C°, tende a disgregare la roccia.

DIVISIBILITA': è un requisito fondamentale in relazione alla possibilità di estrarre e lavorare una roccia. Una formazione rocciosa potrà fornire blocchi grandi solo se i piani di divisibilità sono abbastanza distanziati; la presenza di un sistema fitto di piani di divisibilità può infatti impedire l'estrazione di grandi blocchi e favorire quella di lastre. La presenza, la disposizione e la frequenza di tali piani, dipende dalla tessitura stessa delle rocce. In quelle magmatiche i piani di divisibilità sono molto rari e corrispondono alle spaccature naturali createsi per il ritiro durante il raffreddamento. Pertanto l'estrazione e la lavorazione sfrutta raramente la presenza di superfici preferenziali di taglio; per contro l'omogeneità della struttura consente una spaccatura precisa in qualsiasi direzione e quindi anche l'estrazione di grandi blocchi uniformi da usare con monoliti; è il caso dei grandi obelischi egizi ottenuti in blocchi unici in granito, della lunghezza di decine di metri.

Le rocce sedimentarie sono invece caratterizzate da formazioni stratigrafiche, nelle quali si nota chiaramente la presenza di strati o di blocchi separati fra loro da giunti dovuti a pause del processo di sedimentazione, caratterizzate da una coesione bassissima o nulla della roccia, che lungo tali piani può essere spaccata ed estratta con poco sforzo.

Nelle rocce metamorfiche, caratterizzate da piani di scistosità (ardesie, gneiss, filladi) la maggiore divisibilità corrisponde ai piani di scistosità: quando questi ultimi sono molto ravvicinati le rocce sono più adatte alla produzione di lastre che non di blocchi lapidei; se i piani di scistosità sono molto frequenti l'estrazione di pietra da ridurre in blocchi non è impossibile, purché uno dei piani di lavorazione vanga fatto coincidere con quello della scistosità.

LUCIDABILITA': è l'attitudine di alcune rocce ad assumere superfici lisce. Non tutte le rocce si presentano ad essere lucidate, in genere lo sono le più compatte e non lo sono quelle molto porose e poco coerenti. La durezza è un requisito favorevole alla lucidabilità, ma è soprattutto importante l'omogeneità, cioè che non vi siano differenze eccessive di durezza fra i componenti.

COMPATTEZZA: è data dal rapporto fra il peso specifico apparente e il peso specifico assoluto. Il valore di questo rapporto, sempre inferiore a 1, si avvicina tanto più all'unità quanto meno porosa è la roccia, cioè quanto più è compatta.

PERMEABILITA': proprietà che hanno certe rocce di lasciarsi attraversare da fluidi (aria o acqua).

COEFFICIENTE DI DILATAZIONE: La presenza di calore crea un'agitazione termica negli atomi, in seguito alla quale aumenta la loro distanza di legame, determinando una dilatazione di tutti i composti cristallini. Si tratta di variazioni piccole, non percettibili, ma che, se esercitate con continuità sui giunti cristallini, finiscono per disgregare la roccia, poiché le dilatazioni e i ritiri differenziati possono vincere i deboli legami di superficie. Questo fenomeno è più forte nelle rocce polimineraliche, costituite da minerali con diversi indici di dilatazione, ma risulta notevole anche su rocce monomineraliche formate da cristalli, come la calcite, caratterizzati da dilatazioni differenti a seconda degli assi cristallini.

Tipi di rocce	Coefficiente di dilatazione
Graniti	0.000008
Basalti	0.000005
Arenarie	0.000004

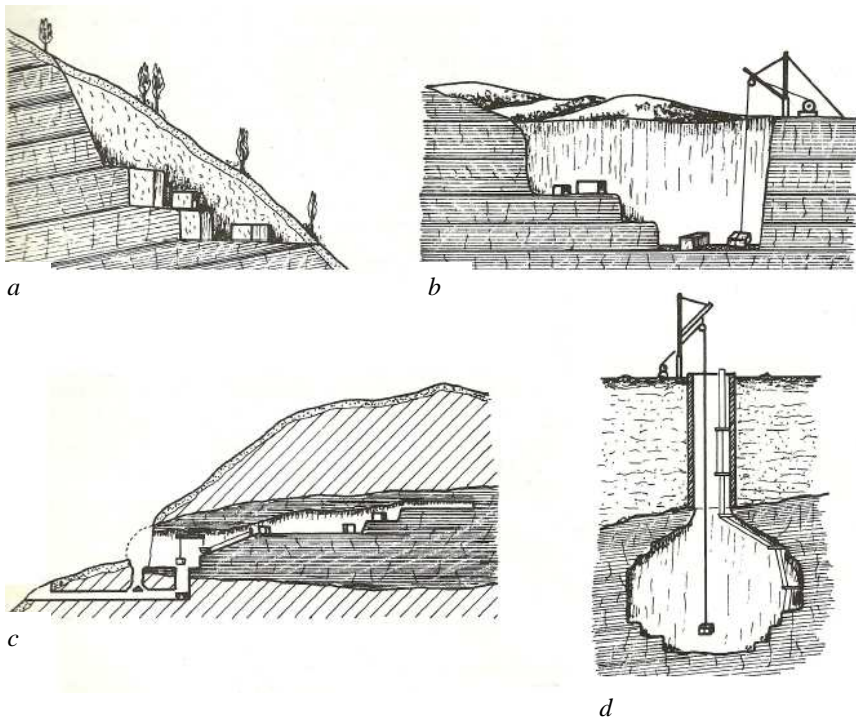
Tab.6. Valori di coefficienti di dilatazione

CONDUCIBILITA' TERMICA: proprietà di trasmettere il calore. In genere i materiali molto porosi, come la pomice, sono anche più isolanti. Nelle rocce meno conduttrici le differenze di temperatura tra zona e zona si equilibrano più lentamente, aumentando gli effetti dannosi degli sbalzi termici.

REFRETTARIETA': proprietà di resistere alle temperature elevate. Particolarmente importante per la costruzione delle fornaci destinate alla produzione di materiale edilizio come calce, mattoni, ferro, vetro.

1. 3. Fasi di lavorazione della pietra

L'ubicazione e la forma delle cave di pietra da costruzione dipende in genere dalla disposizione naturale della roccia, dalla sua compattezza, dalla presenza e dalla quantità di materiale roccioso non utilizzabile e soprattutto dalla morfologia del terreno. La coltivazione avviene a cielo aperto per quelle rocce che presentano una certa omogeneità su un fronte sufficientemente largo da poter essere attaccato con i mezzi di estrazione facendo arretrare la superficie in modo più o meno uniforme e progressivo durante lo smantellamento della compagine rocciosa; questo determina l'apertura di cave ad anfiteatro quando i giacimenti affiorano a mezza costa sui rilievi, mentre nelle zone pianeggianti gli scavi vengono effettuati a fossa con l'abbassamento graduale della superficie del suolo tramite grandi trincee scavate in successione.



Spaccati dei principali tipi di cava:

- a) ad anfiteatro;
- b) a fossa;
- c) in galleria;
- d) a pozzo.

Fig.6. Principali tipi di cava

La lavorazione delle pietre rappresenta la più importante operazione preventiva alla loro messa in opera. Le varie operazioni possono dividersi in:

- 1 - Estrazione
- 2 - Lavorazione in cantiere: spaccatura, squadratura, strumenti
- 3 - Trasporto

1 - Estrazione:

In tutte le epoche i cicli produttivi corrispondono a sequenze di operazioni concentrate fra loro, attraverso le quali la materia diventa manufatto. La prima fase di ogni ciclo è costituita dall'estrazione, che consente di attuare il passaggio dalla risorsa naturale alla materia prima vera e propria. Essa diviene tale solo nel momento in cui viene individuata, selezionata ed estratta per essere sottoposta a processi più o meno complicati di lavorazione. Per le rocce i luoghi di estrazione sono le cave, dove si organizza la coltivazione, attraverso una lacerazione del sottosuolo che permette il prelievo organizzato della materia. La parte superficiale di ogni roccia si presenta alterata dagli agenti atmosferici e dalla vegetazione, che vi si radica succhiando le sostanze nutritive, e, al tempo stesso rallentando l'erosione. Questo strato che va eliminato per raggiungere la formazione rocciosa sana, prende il nome di *cappellaccio*. Esso è nascosto dal suolo, la cui profondità dipende sia dal tipo di roccia, sia dal clima. Anche in passato il lavoro di estrazione doveva necessariamente essere preceduto da operazioni di ricerca e di assaggio del terreno, al fine di scoprire l'ubicazione dei giacimenti di pietra adatta a essere lavorata. Una volta individuato il deposito di materiale lapideo adatto alle necessità, si provvedeva a organizzare la coltivazione.

Quando i giacimenti si trovano a mezza costa sui rilievi, l'estrazione a cielo aperto determinava l'apertura di grandi *cave a gradoni*, disposte ad anfiteatro lungo i fianchi della montagna. Esse erano adatte allo sfruttamento di rocce caratterizzate da una certa omogeneità su un fronte sufficientemente ampio da permettere di fare avanzare la superficie lavabile in modo uniforme e progressivo. In genere l'altezza dei gradoni era orientata in base all'andamento naturale della roccia, cioè con il piano di distacco corrispondente al verso principale. Per *fronte* di cava si intende la parete verticale verso monte, perpendicolare alla superficie di distacco; la sua altezza aumentava via che procedeva la coltivazione e che diminuiva il deposito disponibile. Pertanto, per evitare di esaurire la cava, la zona di coltivazione veniva estesa in senso orizzontale. La base del cavone era in genere costituita da una piattaforma o *piazzale di cava*, sulla quale si facevano ricadere i blocchi staccati, predisponendo appositi ciscini di schegge, che permettessero di attutire i colpi durante la caduta.

Nelle zone pianeggianti, le cave a cielo aperto potevano essere invece del tipo *a fossa* e cioè caratterizzate dall'abbassamento graduale della superficie del suolo, operato con grandi trincee scavate in successione. La coltivazione in sotterraneo, tipica delle miniere, era invece molto rara per le rocce ed era utilizzata solo allo scopo di sfruttare affioramenti particolarmente pregiati, una volta esauriti in superficie.

Il sistema tradizionale usato per il distacco ordinato dei blocchi, senza il quale era impossibile la coltivazione sistematica della cava, viene definito *tagliata a mano*. Esso consisteva nel separare, con appositi strumenti, i sei lati che definivano il parallelepipedo.

Le tecniche di coltivazione adottate per estrarre materiale dalle pareti rocciose sono sostanzialmente due; la prima consiste nel far franare una porzione consistente della parete rocciosa sperando che insieme ai frammenti detritici rimangano intatti anche blocchi di

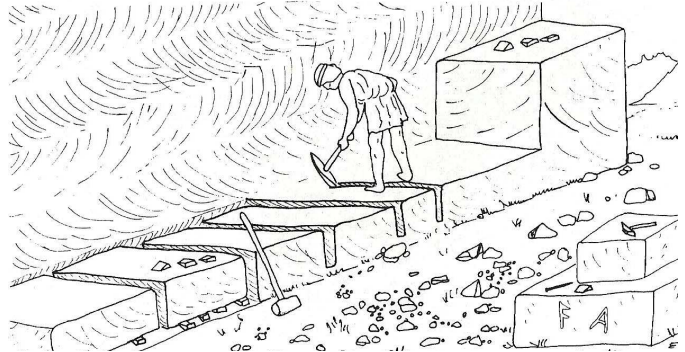


Fig.7. Tagliata a mano della roccia

grandi dimensioni da cui ricavare misure commerciabili. In questo caso il rendimento in materiale utile è molto basso e il sistema si impiega soprattutto per ricavare pietrisco e piccoli blocchi da muratura.

Quando non si vuole danneggiare il materiale estratto è preferibile il distacco controllato dei blocchi, attuato isolando i lati della porzione di roccia con vari sistemi di taglio:

- a) *Tagliata a mano;*
- b) *Esplosivi gradual;*
- c) *Tagliata con filo elicoidale;*

a) Estrazione dei blocchi con sistemi manuali:

Risulta il metodo più antico e viene effettuato sia su roccia tenera, come tufo e travertino, che su roccia semidura e dura come ardesia, calcari e marmi, dove è impiegata in genere per quei materiali molto omogenei con scarsa fessurazione o piani di distacco poco visibili.

La tecnica si limita alla preparazione di due piani ortogonali, uno verticale e uno orizzontale, risultanti anche da precedenti estrazioni e che rappresentano due facce del blocco da staccare; gli altri lati si isolano scavando dei canali profondi quanto il blocco stesso per mezzo del piccone a punta o di mazzetta e scalpello che lasciano sulle pareti una serie regolare di striature parallele. Dopo aver delimitato i fianchi, si esegue un taglio orizzontale, sostenuto in punta da ceppi di legno durante la lavorazione, per creare il piano inferiore, o si forzano eventuali discontinuità per mezzo di cunei fino a staccare un parallelepipedo di dimensioni calcolate, da ribaltare sul piano di cava con l'ausilio di leve e pronto per le operazioni di finitura.

Lo svantaggio del taglio a mano, oltre alla lunga e difficoltosa operazione manuale, consiste nel dover ricavare i canali laterali sempre più lunghi e proporzionati alla profondità da raggiungere, per rendere praticabile il fondo del taglio con gli attrezzi a mano.

Dopo aver effettuato le operazioni di taglio, il distacco controllato dei grossi blocchi avviene per *ribaltamento* o per *varata*: nel primo, dopo aver isolato il perimetro, si taglia un cuneo al piede del masso che ruota su se stesso e cade sul piazzale in posizione orizzontale; nel secondo caso, il blocco mantiene la posizione verticale e scivola verso il piazzale su un piano inclinato determinato da discontinuità naturali.

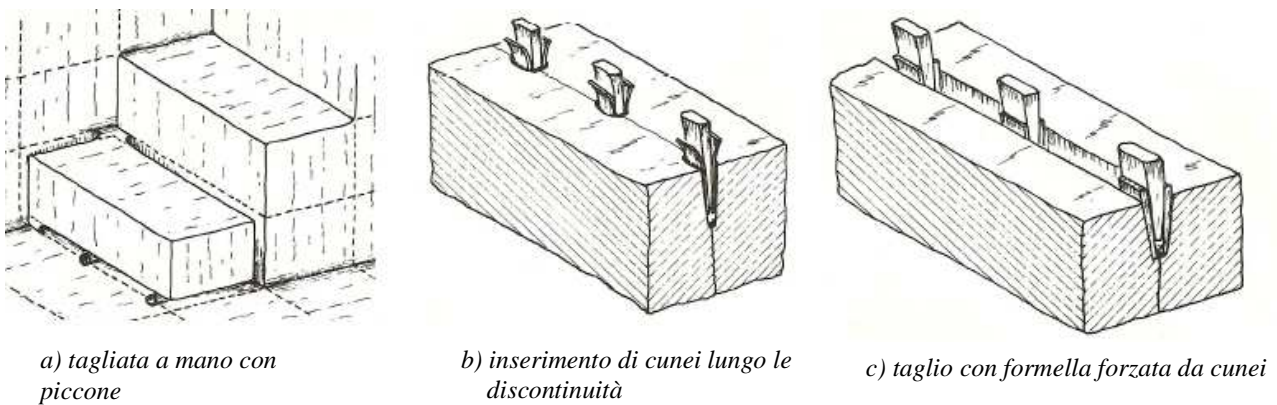


Fig.8. Distacco dei blocchi con sistemi manuali

Distacco dei blocchi:

a) per ribaltamento dopo aver asportato un cuneo alla base;

b) per varata con taglio quasi verticale e un'inclinato di 25°-30° sull'orizzonte che funge da piano di scivolamento;

c) sistema misto per scivolamento e ribaltamento.

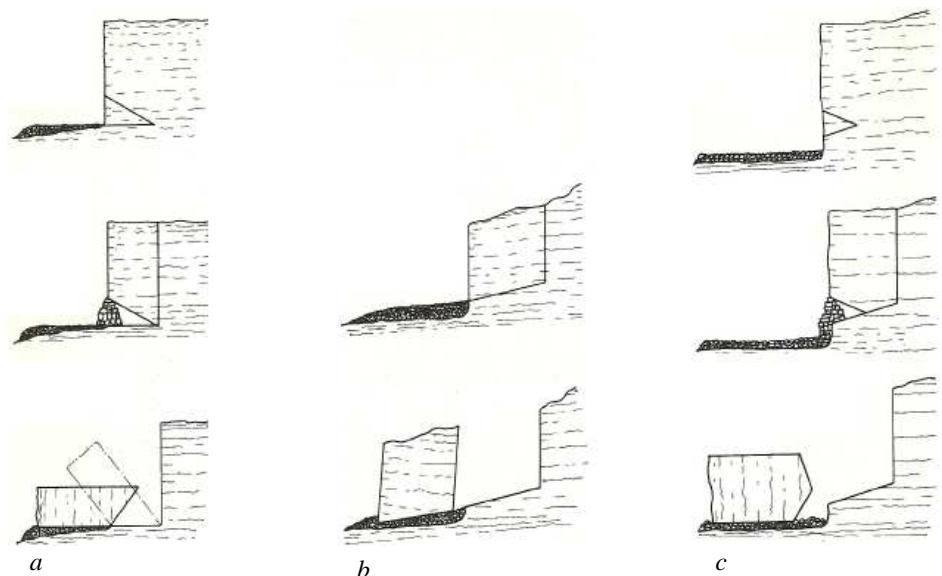


Fig.9. Distacco controllato dei grandi blocchi

b) Estrazione dei blocchi con esplosivi gradualisti:

L'uso di mine nella coltivazione delle cave sostituisce nella tecnica a mano l'energia manuale necessaria all'allargamento delle discontinuità naturali; gli esplosivi sono usati per questo scopo a partire dal secolo XVII, ma la loro applicazione sistematica avviene solo dopo il 1831, data dell'invenzione della miccia a lenta combustione.

Gli esplosivi ad azione dirompente, come la dinamite, non sempre producono materiale utilizzabile nelle costruzioni a causa della intensa fratturazione che riduce la roccia in pezzi di dimensioni ridotte, più adatti alla produzione di pietrisco e alla fabbricazione di leganti. Nelle grandi varate si impiega preferibilmente polvere nera, con combustione progressiva ed effetto deflagrante, in modo da staccare blocchi interi di grandi dimensioni; l'unico vantaggio di questo sistema sta nella rapidità di lavoro in quanto gli ammassi presentano quasi sempre una rete di incrinature che danneggia i piani di distacco per una profondità intensa. La carica esplosiva viene inserita in fori ricavati con lunghi scalpelli costruiti in acciaio e terminanti con una punta tagliente; gli attrezzi vengono introdotti nella roccia battendoli con la mazza e ad ogni colpo l'asta è girata di alcuni gradi per ricavare un foro di forma perfettamente tonda. Quando viene raggiunta la base del blocco da staccare, il foro deve essere accuratamente pulito dai detriti usando la *curetta*, una sorta di cucchiaio montato orizzontalmente su un'asta sottile, e nelle mine più semplici la polvere nera viene versata direttamente nel foro; l'esplosivo è pressato con un calcatoio in legno dotato di punta di rame per evitare scintille e di una scanalatura per evitare scintille e di una scanalatura per il passaggio della miccia o dei fili del detonatore elettrico che permette lo scoppio simultaneo di più cariche. Il distacco dei grossi blocchi è provocato solitamente da una successione di esplosivi con mine a bassa potenza, ma tali da creare nella massa rocciosa una rete di fessure che progressivamente si allargano. Per rocce dure come il granito occorrono fino a 25 detonazioni e l'impiego di una quantità sempre maggiore di polvere nera per intasare la rete di fenditure che via si forma; con questo sistema e con l'accensione simultanea con le cariche disposte in posizioni accuratamente studiate lungo i piani da separare, si ottengono blocchi quasi integri.

c) Estrazione dei blocchi con il taglio a filo elicoidale:

Questo sistema di taglio, inventato nel 1854, fu introdotto nelle cave di marmo delle Alpi Apuane e si diffuse rapidamente per il minimo quantitativo di scarti prodotto per questo tipo di lavorazione.

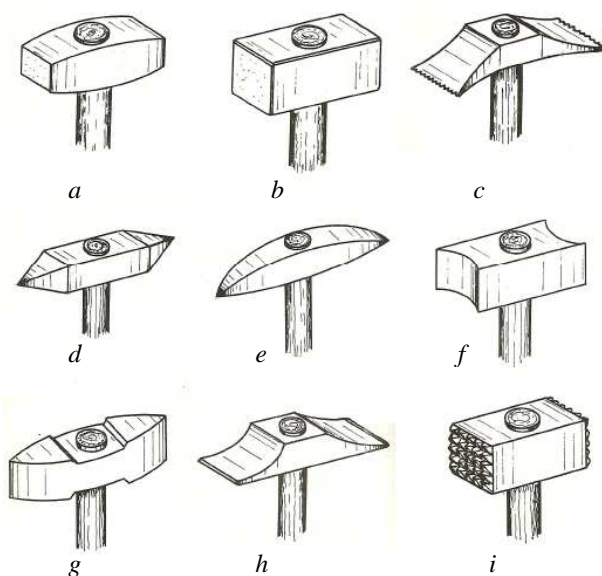
Il filo elicoidale si usa per tagliare rocce dure e semidure come marmi, calcari ornamentali, serpentine ecc., sia dalla parete rocciosa che sui piazzali per ridurre i blocchi in lastre e pezzi commerciali piccoli.

Il sistema è costituito da tre fili di acciaio avvolti a spirale in modo da formare una fune di 3-6 mm di

diametro con tre solchi ad andamento elicoidale; durante l'avanzamento del filo (5-6 m al secondo) le scanalature trascinano una miscela di sabbia silicea e acqua che provoca l'abrasione della superficie della roccia e incide un solco largo da 8 a 10 mm. Abbassando progressivamente le pulegge di guida, il filo si tende e la pressione esercitata permette di approfondire il taglio con una velocità di penetrazione di circa 10 cm all'ora. Il circuito del filo è molto lungo (1-2 Km) e durante il suo sviluppo raggiunge i punti di utilizzazione partendo dal piazzale dove è installato il gruppo motore. Una serie di pulegge e di rinvii orientabili permette di ubicare la zona di taglio secondo le esigenze e con un fronte che a volte può raggiungere la lunghezza di 30 m e un'altezza superiore a 10 m; durante il taglio un carrello pesante, posto su un piano inclinato e collegato al filo tramite una puleggia di rinvio, mantiene costante la pressione.

2 - Lavorazione in cantiere: spaccatura, squadratura, strumenti:

Prima della posa in opera, gli elementi destinati alle strutture murarie ricevevano, generalmente in cantiere, una preparazione finale. Lo stadio più semplice era costituito dalla lavorazione detta *a spacco*, che consisteva nel fratturare la roccia con uno o più colpi, eseguiti a percussione diretta, con un martello tenuto leggermente inclinato.



Principali strumenti a manico per la lavorazione della pietra:

a,b) mazze;

c) martellina a denti;

d,e) Martelli a due punte;

f) mazza a testa concava per squadrare;

g) martello a taglio dritto per pietre tenere;

h) martellina;

i) bocciarda a testa piana.

Fig.10. Strumenti per la lavorazione della pietra

Il colpo emette onde elastiche a compressione e rilasciamento, parallele alla direzione di trasmissione; la parte della materia direttamente a contatto col percussore si comprime e rilascia trasmettere l'onda

alla materia posta a fianco. Nelle rocce tenere un solo passaggio può rompere subito tutti i legami, mentre in quelle tenaci resistono a percussione. Di conseguenza quanto maggiore è la tenacità delle rocce, tanti più colpi, ripetuti nello stesso punto, saranno necessari per spaccarla.

Le murature identificabili con l'*opus incertum*, descritto da Vitruvio erano formate da pietre lavorate a spacco. Tale specializzazione non richiedeva un lapicida specializzato. Oltre che per le pietre da muro la lavorazione a spacco era adatta anche per la produzione di lastre. Tale lavorazione era effettuata in cava per ridurre il peso del trasporto.

La *sbozzatura* rappresenta uno stadio di lavoro più complesso e viene fatto per regolarizzare i blocchi estratti ed eliminare spigoli troppo a rischio nei trasporti, oppure può servire ad adeguare la geometria del manufatto. Questa tecnica è comune a molte rocce ed è usata con piccole varianti sui materiali duri, come il granito e i marmi e le arenarie.

La *segazione* a mano o a macchina viene effettuata soprattutto su rocce tenere e semidure come travertini, gesso, tufi calcarei. Per le qualità tenere e appena estratte dalle cave è sufficiente l'impiego di una sega rettilinea con lama a denti, inserita in un telaio che assicuri la tensione necessaria per produrre tagli dritti e regolari. I materiali più compatti si segano con lame lisce in ferro non temperato e una miscela di acqua e sabbia silicea a granuli ruvidi, che funge da abrasivo.

La *squadratura* è invece un'operazione assai complessa che richiede una specializzazione artigianale.

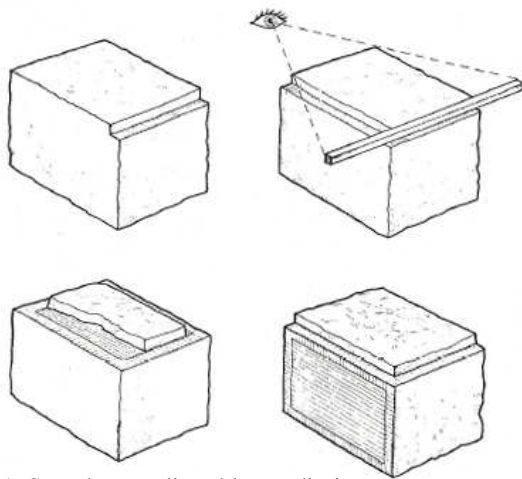


Fig.11. Squadratura di un blocco di pietra

Permette di ottenere blocchi anche di grandi dimensioni. Viene realizzata con mazzetta e un grosso scalpello a punta ottusa e consiste nel rendere piane le superfici della pietra e rettificare gli spigoli del concio. Per la costruzione di blocchi con facce ad angolo retto si procede tracciando con lo scalpello e con l'aiuto di un regolo di legno uno spigolo perfettamente rettilineo a cui segue, sullo spigolo opposto della stessa faccia, la medesima operazione, mentre l'esatto parallelismo tra le due parti si verifica collimando a occhio con un secondo regolo;

con la subbia o lo scalpello si toglie tutto il materiale compreso tra i due spigoli in modo da ottenere la prima faccia piana da usare come riscontro per tutte le altre.

A seconda del loro uso gli strumenti si possono dividere in due principali categorie:

- a) *A percussione diretta;*
- b) *A percussione indiretta;*

a) ***Strumenti a percussione diretta:***

Sono quegli strumenti che scalfiscono direttamente la pietra, e più precisamente sono: il picco da cava, la picchetta, la scure o martellina liscia (usata soprattutto nell'Italia centrale per la lavorazione dei tufi), la martellina dentata a taglio verticale o zappa o martello a punta (introdotta in Francia nel XVII secolo e successivamente in Italia).

Per il lavoro di estrazione venivano usati anche strumenti a percussione diretta con lunga immanicatura, necessari per l'incisione dei solchi sui tre lati del blocco e, infine, leve per sollevare i pezzi staccati

d) ***Strumenti a percussione indiretta:***

Sono strumenti costituiti da punte, scalpelli, gradine, e per essere usati devono essere battuti da percussori.

Le punte possono essere a terminazione grande (se vengono usate per sgrossatura) o fine (se servono alla spianatura delle superfici).

Gli scalpelli oltre ad avere una ricca scala dimensionale, possono essere a taglio curvo o diritto.

3 - **Trasporto:**

In ogni epoca il costo del trasporto, in termini di fatica umana e di tempo, era tra i più alti di tutte le operazioni di cantiere. Nei casi in cui la zona di estrazione si trovava in aree montane, la prima fase del trasporto era rappresentata dalla discesa dalla cava verso il piano, tramite percorsi che generalmente si effettuavano su forti pendenze, e lungo i quali i blocchi dovevano essere frenati. Un sistema frequente era l'approntamento di piste costituite da piani inclinati, lungo le quali venivano fatti scendere i blocchi, legati a slitte di legno, 'lizzate' che scorrevano su travicelli disposti trasversalmente, frenate con funi agganciate ai bordi del percorso; il graduale allentamento delle funi consentiva un lento avanzamento dei carichi.

In pianura il trasporto dei blocchi o dei semilavorati necessitava invece di sistemi di traino tramite slitte trascinate dalla forza di centinaia di uomini oppure veniva impiegata l'energia animale.

Il trasporto meno costoso era rappresentato dalle vie dell'acqua.

LEGNO

2.LEGNO

Il legno è un tessuto vegetale e rappresenta la componente più cospicua del tronco, dei rami e delle radici degli alberi. Questi infatti si sviluppano per strati concentrici che, partendo dal centro, vengono così denominati: durame, albarno, cambio, libro, corteccia. Il legno propriamente detto è quindi solo una parte dell'albero.

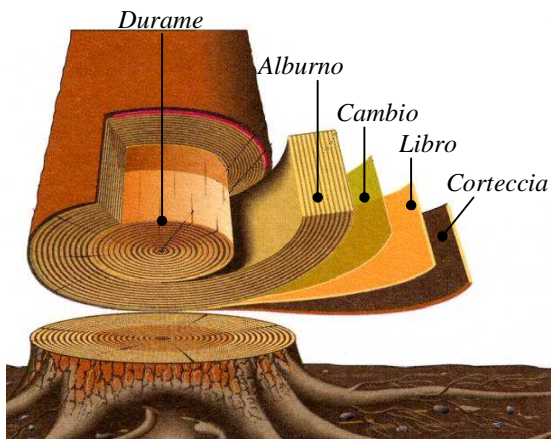


Fig.12. Sezione radiale del tronco

Presso i Greci e i Romani le opere in legno e la carpenteria si sviluppano solo in maniera limitata e per gli edifici di carattere duraturo vengono impiegati di preferenza i materiali lapidei e i laterizi, più pesanti e di consistenza dura, ma non combustibili. Il legno viene adoperato per le fondazioni in terreni cedevoli e paludosi, nella costruzione delle strutture orizzontali di separazione tra i piani degli edifici e nelle armature di sostegno della copertura; in epoche successive, nell'area mediterranea,

continua a prevalere la costruzione in pietra o in mattoni rispetto alle opere lignee, che rimangono limitate a funzione ausiliare. Nelle zone ricche di foreste, come il nord Italia e le regioni dell'Europa centrale e settentrionale, il legno trova una grande applicazione nel campo delle costruzioni, proprio grazie alla reperibilità, alla leggerezza, alle doti elastiche e alla facile lavorazione.

2.1. Genesi e classificazione del legno

Gli alberi sono composti da cellule differenziate per funzioni e formate da una membrana ricca di cellulosa e di lignina che circonda una parte centrale costituita dal protoplasma. In genere le cellule legnose assumono una sagoma allungata, più adatta a consentire il passaggio dei liquidi, e sono organizzate in tessuti orientati con direzione parallela all'asse dell'albero allo scopo di conferire una maggiore resistenza al fusto. I tessuti legnosi che compongono il corpo degli alberi sono formati da cellule simili, legate strettamente l'una all'altra, che svolgono all'interno della pianta diverse funzioni di nutrizione, di distribuzione degli alimenti, di protezione oppure sono collegate alla riproduzione di legno nuovo.

Nella sezione trasversale del tronco la parte centrale è occupata dal *midollo*, sottile condotto riempito da cellule non addensate in una massa di struttura poco compatta. Il legno circonda il midollo e costituisce la maggior parte del tronco con anelli concentrici più o meno sviluppati e visibili chiamati

anelli d'incremento; nella pianta sana quelli di colore chiaro (legno primaverile o iniziale) si alternano con regolarità a quelli più scuri (legno estivo – autunnale o finale). La zona interna del legno è chiamata *durame* o cuore (massello o legno vero) parte interna del tronco, generalmente di colore più scuro, formato da cellule morte da molti anni, dure e compatte, che non trasportano più i liquidi. E' la parte del tronco utilizzata per produrre i derivati del legno.

L'*alburno*, rappresenta la parte esterna al durame. Di colore chiaro, è formato da cellule vive che trasportano l'acqua dalle radici alla chioma; proprio a causa del passaggio della linfa nei vasi la struttura è più tenera e maggiormente soggetta a fenomeni di putrefazione.

All'esterno dell'alburno si trova una zona di tessuto con spessore microscopico detto *cambio*, che dalla parte interna dà origine a nuovi strati legnosi e verso la corteccia forma il *libro*, tessuto principale di discesa e di distribuzione della linfa elaborata all'apparato fogliare. La *corteccia* è l'ultimo strato del tronco e funge da rivestimento esterno del fusto e dei rami. I raggi midollari completano la struttura del legno: rappresentano il collegamento tra midollo e cambio (raggi primari) oppure tra questo e i vari anelli annuali (raggi secondari); i condotti servono in particolar per il trasporto degli alimenti e per arricchire la linfa durante la ripresa vegetativa della pianta. Nella sezione trasversale i raggi si presentano come sottili vasi schiacciati ad andamento radiale che sovente danno origine a piani di facile spaccatura del legno.

La disposizione e la dimensione degli anelli di crescita annuali si riconoscono bene nella sezione radiale, dove formano bande di densità e di colore diverso disposte in modo parallelo all'asse longitudinale della pianta. Lo strato chiaro risulta poroso e attraversato per il lungo da grandi vasi necessari alla circolazione dell'abbondante linfa primaverile e particolarmente evidenti nei legni di tipo poroso (come il castagno, l'olmo e il frassino). La parte più scura dell'anello corrisponde all'accrescimento estivo - autunnale con scarsità di canali per la ridotta circolazione della linfa; si presenta più compatto e formato da cellule con cavità ridotte dotate di una robusta membrana. In talune specie arboree non si riscontra la presenza di grandi vasi e la distribuzione dei pori tende a essere uniforme oppure mostra solo leggeri addensamenti nella parte iniziale; ciò rende difficoltosa la distinzione tra legno iniziale e finale, mentre lo spessore dell'anello è determinabile solo per la presenza di una sottile zona più scura, dovuta all'attività vegetativa durante il periodo autunno – inverno.

Il legno è costituito essenzialmente da un tessuto fibroso , orientato parallelamente all'asse del fusto stesso, le cui fibre sono formate da cellule di forma allungata. Ogni genere di pianta arborea presenta

un suo proprio tipo costante di tessuto legnoso che ne connota i caratteri. Le essenze che interessano come legni da costruzione sono riunite nei due gruppi seguenti:

Le **Conifere**, dette anche resinose, nelle quali la massa legnosa è costituita essenzialmente da cellule allungate, dette tracheidi, che svolgono sia la funzione meccanica di sostegno della pianta sia quella di

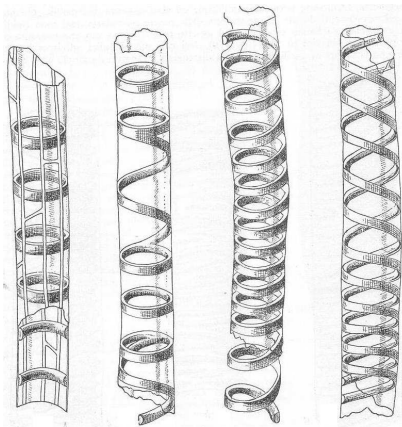


Fig. 13. Cellule del legno

conduzione dei succhi linfatici. Hanno una forma allungata e stretta molto simile alle fibre con l'unica differenza che il lume cellulare è più largo, come si conviene ad una cellula che deve trasportare del materiale al suo interno.

Ogni tracheide comunica con quelle sopra e sottostanti attraverso piccole punteggiature alle sue estremità.

Una serie di tracheidi è dunque paragonabile ad un tubo diviso trasversalmente in vari segmenti. Tra le tracheidi sono inseriti in senso radiale i raggi midollari, spesso invisibili ad occhio nudo, nei

quali sono principalmente riunite le cellule parenchimatiche con funzione di riserva nutritiva dei tessuti. In talune essenze sono frammisti alle tracheidi in senso assiale i condotti resinosi.

Le conifere comprendono specie come abeti, pini, araucarie, sequoie, cipressi, ginepri ecc. Sono alberi per lo più a fusto alto, diritto e molto ramificato, solo talora hanno forma arbustiva o strisciante. Le foglie sono sottili, aghiformi o squamiformi, molto numerose, adatte a

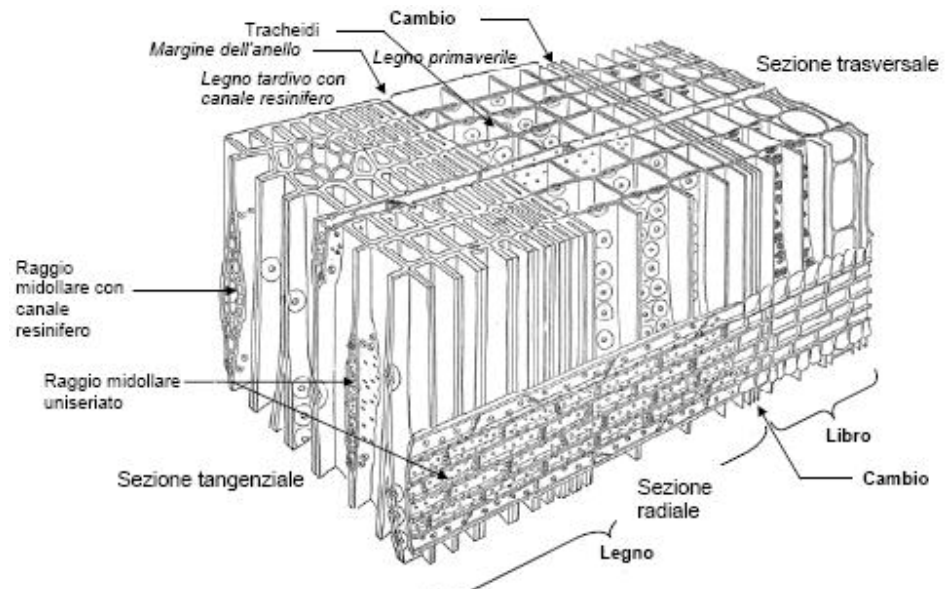


Fig. 14. Particolare del corpo legnoso del legno di conifere

resistere a condizioni climatiche avverse; per la maggior parte le specie sono sempreverdi. I fiori sono unisessuali; i semi, numerosi, non si formano all'interno di un frutto, ma si trovano sulle scaglie di un cono o strobilo (comunemente chiamato pigna), che impiega da 4 mesi a 3 anni per maturare; quasi tutte le parti delle conifere contengono canali resiniferi. Caratteristiche delle regioni temperate e fredde

dell'emisfero boreale, dove costituiscono estese foreste, sono presenti anche in regioni temperate. Fra le specie spontanee in Italia, l'abete rosso, l'abete bianco, il pino silvestre, il pino cembro, il pino marittimo, il larice europeo, il cipresso sempreverde, il tasso e alcune specie di ginepro. Le conifere hanno notevole importanza economica, perché forniscono legnami, materia prima per carta da stampa, resine, pece, trementina (oleoresina ricavata dall'incisione della corteccia), semi commestibili (pinoli).

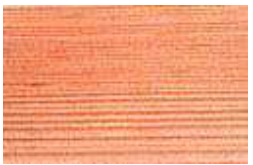
Principali Conifere:



- Abete bianco e rosso: è il più comune in Europa, dove cresce in tutte le regioni centrali e meridionali, molto diffuso sulle Alpi e sugli Appennini, è un albero imponente ed attraente, alto fino a 50 metri; è di colore bianco o leggermente rossastro. L'abete rosso si distingue dal primo per la sua forma più regolare perché è più denso di foglie; è stato usato per la struttura di mobili che poi venivano placcati, laccati, dorati, dipinti, etc.; gli ebanisti francesi se ne servirono per lavori d'intaglio. E' legno nodoso, poco resistente e si altera all'umidità;



- Larice: è un albero europeo con rami che si stendono verso il basso per poi rivoltarsi verso l'alto, allo stato selvatico arriva fino a 35 metri d'altezza; rossiccio con venature più scure, elastico, non si screpola, resiste al tarlo e all'umidità, ma durante la stagionatura si fende e si torce;

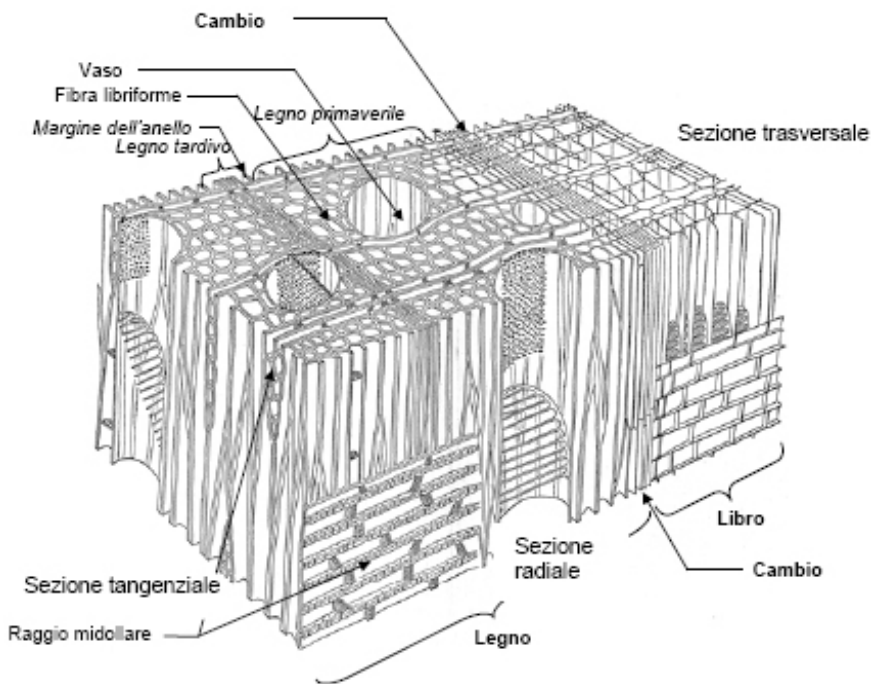


- Pino: nativo della Gran Bretagna si trova in tutta l'Europa, nelle regioni montuose, alto fino a 40 metri, ha caratteristiche simili all'abete; in particolare veniva usato per mobili di servizio: cassapanche, madie, etc.;



- Douglas: è un'elegante conifera, tra le più alte in Europa, fino a 50 metri, prevalentemente usata come legname da costruzione; il Douglas viene spesso confuso con l'abete bianco o rosso, le cui caratteristiche sono pressoché simili, ma da una attenta analisi si vedono differenze di fibratura).

Le *latifoglie*, nelle quali la massa legnosa è formata essenzialmente da due tipi distinti di cellule



costituenti le une il tessuto fibroso di sostegno della pianta e le altre il sistema vascolare in cui scorrono i succhi. In senso radiale sono inseriti i raggi midollari che in queste essenze sono generalmente ben visibili, e talora sono presenti cellule parenchimatiche, o di riserva, in senso assiale.

Le piante di latifoglie sono generalmente arboree o arbustive, caratterizzate da foglie larghe a prescindere

Fig. 15. Particolare del corpo legnoso del legno di latifoglie

dalla loro forma, come il faggio, il tiglio, il castagno. Le latifoglie sono Angiosperme e si contrappongono alle aghifoglie (Gimnosperme). La maggior parte delle latifoglie sono decidue; il bosco di latifoglie è caratteristico delle zone con clima temperato.

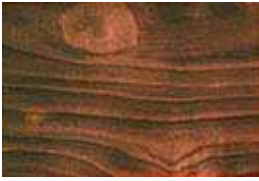
Principali latifoglie:



- Acero: cresce ovunque, ha una magnifica chioma fogliare a cupola, alto fino a 35 metri, è un legno bianco con gradazioni rossastre e sfumature che vanno dal giallastro al violetto. E' molto duro con grana fine, riceve un'ottima pulitura e brillante lucidatura; si imbarca facilmente, è poco flessibile ed è attaccato frequentemente dal tarlo. Venne utilizzato per la tecnica dell'intarsio durante il XVIII e XIX secolo in Inghilterra;



- Castagno: è un albero imponente che cresce fino ai 30 metri, un po' ovunque, introdotto in tutta l'Europa dai Romani; di colore giallo fulvo chiaro o bruno chiaro, abbastanza duro è molto resistente all'acqua, è legno fragile e si tarla facilmente.;



- Ciliegio: è di gran lunga, tra le specie simili, il più imponente; raggiunge i 20 metri, presente un po' ovunque è forse originario dell'Oriente; ha grana media uniforme di color rosso-bruno lucente, con venature sottili; legno pesante si imbarca facilmente e si ritira notevolmente. Gli ebanisti francesi e anglosassoni ne fecero grande uso per mobili;



- Faggio: è un grande albero molto vistoso, che può raggiungere i 30-40 metri con un'enorme chioma, prospera ovunque anche su terreni asciutti e rocciosi; di color rosso giallastro con raggi midollari bruno lucenti, legno semiduro e compatto, venato in modo uniforme. Si taglia molto bene ed è adatto alla curvatura a vapore, Thonet, tende a screpolarsi ed è facilmente attaccato dagli insetti e dei parassiti; usato per le parti interne dei mobili;



- Frassino: è un albero diffuso in tutta l'Europa con chioma fogliare piuttosto irregolare, spesso con numerosi rami morti; è alto 20-25 metri, cresce su terreni freschi e ricchi. Di colore bianco madreperlato, leggero, ha struttura fine, è abbastanza resistente, elastico e tenace; purtroppo è soggetto al tarlo e marcisce facilmente se esposto alternativamente al secco a all'umido. Utilizzato per le strutture degli imbottiti e piallacci.;



- Pioppo: è un complesso gruppo di piante delle quali è difficile dire quali sono le specie, sicuramente non europee, nasce ovunque in zone con clima mite e umido; ha grana omogenea, leggero, bianco tendente al giallo, senza venature; si fende e si imbarca facilmente, è attaccato dal tarlo;



- Noce: è un albero maestoso forse originario dell'Asia, cresce in ogni parte d'Europa, ha un colore grigio-bruno con venature più scure, qualche volta nere o rossastre; venne ed è considerato uno dei migliori legni, sia a livello estetico sia per la sua duttilità, si taglia bene, ha una durezza media ed è perfetto negli interventi di pulitura e lucidatura. Poco resistente alla flessibilità; se mal stagionato viene attaccato facilmente dal tarlo, non si screpola. Legno preferito per tutto il Rinascimento italiano, mentre nel Seicento i francesi e gli inglesi lo sostituirono con il mogano; il noce dà piallacci di notevole qualità specie in prossimità della radice;



- Olmo: cresce in Europa e nell'Asia Occidentale prevalentemente nei boschi e vicino a corsi d'acqua, di color bruno-rossastro con venature scure; legno tenace, compatto, elastico, resistente all'umidità non è attaccato dai parassiti, tende a fendersi ed a imbarcarsi facilmente e non si pulisce bene. La sua radice venne utilizzata, soprattutto, per lavori d'intarsio;



- Rovere-Quercia: si trova in tutta l'Europa, estremamente variabile per forma e dimensioni, di color giallo-bruno con striature giallo oro, non è facile da lavorare; è legno duro, compatto, pesante. Poco attaccato dai parassiti si deforma facilmente; non riceve perfetta levigatura né lucidatura brillante. Venne utilizzato per la costruzione di mobili di pregio;



- Ebano: è originario dell'India, di Giava, e del Madagascar è un legno di colore nero intenso, illuminato da riflessi rosso cupo; durissimo, compatto, di grana finissima, non si screpola, non è attaccato dagli insetti, quindi è legno di una fragilità massima. Considerato fin dai tempi più antichi degli Egizi e dei Romani, un legno prezioso, venne utilizzato per mobili o oggetti di grande valore.



- Mogano: originario delle Americhe è un legno di colore rosso-bruno riccamente venato, duro, si lavora benissimo, ha grana fine e uniforme, si lucida perfettamente, si ritira poco e resiste al tarlo. Utilizzato fin dalla prima metà del XVIII secolo in Inghilterra e in particolare durante tutto il XIX secolo, soprattutto dai Francesi che, con questa essenza, diedero vita ad esemplari in stile Luigi XVI, Direttorio e Impero di notevole fattura. Questo legno venne inizialmente importato da Cuba o dall'Honduras, ma in tempi recenti, essendo il mogano cubano quasi introvabile e il secondo esageratamente costoso, ci viene fornito dall'Africa e dalle Filippine, ma è di qualità assai inferiore e manca di venature. Per poter distinguere il "vero mogano" basta inumidire una parte non lucidata, questa assumerà una gradazione molto scura, mentre quello filippino diventerà chiaro-rosato e l'africano si manifesterà con un colore intermedio.

Sia nelle conifere che nelle latifoglie il fusto è formato per apposizione di successivi strati periferici di cellule, ciascuno dei quali corrisponde di regola ad un anno di vita. I vari strati sono più o meno

marcatamente distinti per il colore diverso dovuto a un diverso grado di compattezza che il legno formatosi in primavera assume rispetto a quello estivo – autunnale. La zona più interna del fusto e quindi più vecchia, costituita da cellule che hanno progressivamente perduto la funzione vitale e sono quindi più povere di acqua e a parete più spessa. Mano a mano che il legno si duramizza, diminuisce il contenuto di acqua, aumenta in compattezza, peso, durezza, resistenza e assume un colore più scuro.

Il legno durante il periodo vitale presenta un elevato contenuto di acqua. Questa che può variare in funzione della essenza, del periodo vegetativo, dell'età della pianta, delle condizioni climatiche, è in parte allo stato libero all'interno delle cavità cellulari (acqua di imbibizione) ed in parte legata alle sostanze costituenti le pareti delle cellule (acqua di saturazione).

Dopo che la pianta viene abbattuta, il legno inizia la perdita d'acqua di imbibizione e di una parte dell'acqua di saturazione attraverso la fase della stagionatura che deve protrarsi in modo da ridurre il contenuto in acqua fino ad una situazione di relativo equilibrio con lo stato igrometrico dell'ambiente. Detto stato di equilibrio si verifica nel nostro paese per un contenuto di acqua che va dall'8 al 20% del peso a seconda delle condizioni ambientali e di quelle stagionali. In particolare, per legnami da usare in ambienti interni la percentuale di umidità del legno varia dall'8 al 12%.

La tabella che segue è relativa all'equilibrio igroscopico che il legno raggiunge dopo un certo tempo, che varia in relazione al tipo di essenza ed alla ventilazione.

Umidità relativa dell'aria	Temperatura dell'aria in °C			
	10°	20°	30°	40°
30%	6.5	6	5.8	5.5
40%	8	7.5	7	7
50%	9.5	9	8.5	8
60%	11.5	11	10.5	10
70%	13.8	13.2	12.5	12
80%	18	16	15.5	15
90%	22.5	20	19.5	19
	Valori percentuali di umidità contenuta nel legno, espressi in % del peso secco del medesimo			

Tab.7. Equilibrio igroscopico del legno da costruzione

La conoscenza dei valori dell'umidità che il legno raggiunge con l'equilibrio igroscopico, consente di prestabilire il processo di stagionatura dello stesso, con notevoli vantaggi pratici ed economici.

2. 2. Requisiti tecnici del legno

Le proprietà dei legnami variano a seconda del tipo di albero da cui provengono. Un legno può essere molto chiaro come il pioppo ed il larice oppure molto scuro come l'ebano. Ci sono legni teneri come la betulla e legni duri come il noce; ci sono legni elastici o più rigidi; ci sono legni che si lasciano tagliare facilmente altri meno.

Per potere lavorare un legname in modo adeguato è necessario conoscere:

- a) *Proprietà fisiche*
- b) *Proprietà meccaniche*
- c) *Proprietà tecnologiche*

a) *Proprietà fisiche del legno:*

POROSITA': Capacità di assorbire l'umidità; dipende dalla dimensione e dal numero dei vasi della pianta. Più un legno è poroso più risulta difficile da pulire e da lucidare;

ETEROGENEITA': Uniformità delle fibre;

PESO SPECIFICO: Si calcola in relazione alla durezza e all'umidità contenuta nel campione in questione. E' dato dal rapporto tra il peso del legno ed il suo volume e si esprime in gp di un blocchetto di Legno di volume di 1 cm³.

$$Ps = P/V = gp \times cm^3$$

Può variare nello stesso legname a seconda dell'acqua che esso contiene: in genere è inferiore a 1 [kg/dm³] e ciò determina la sua galleggiabilità nell'acqua; fa eccezione l'ebano che, più pesante dell'acqua affonda in essa. Il peso specifico viene rilevato dopo il periodo di stagionatura e si riferisce a legnami con grado di umidità del 12-15%;

PESO SPECIFICO [kg/dm ³]					
Piante resinose (conifere)		Latifoglie		Piante esotiche	
Abete bianco	0.47	Acero montano	0.67	Balsa	0.05 – 0.2
Abete rosso	0.45	Betulla	0.65	Ebano	1.00 – 1.20
Cipresso	0.62	Castagno	0.58	Hickory	0.70 – 0.85
Ginepro	0.62	Ciliegio	0.62	Mansonia	0.62 – 0.70
Larice	0.66	Faggio	0.75	Mogano	0.50 – 0.60
Pino	0.62	Frassino	0.72	Okoumè	0.40 – 0.90
Tasso	0.76	noce	0.72	Palissandro	0.40 – 0.90
		Olmo	0.62	Teak	0.62 – 0.68
		Pioppo	0.40		
		platano	0.69		
		Rovere	0.76		
		Salice	0.45		
		Tiglio	0.65		

Tab.8. Peso specifico essenze legnose

ASPETTO: Dipende dall'andamento delle fibre;

ODORE: Dipende dal tipo di legno, particolarmente marcato è l'odore aromatico nelle resine come il Larice;

COLORE: Ogni legno si distingue per il suo colore e la sua venatura più meno particolare o chiara;

RITIRO: variazione del volume sotto l'influsso di cambiamenti di temperatura e umidità;

IGROSCOPICITA': capacità di assorbire l'umidità dell'ambiente circostante anche dopo l'essiccazione con la possibilità di cambiare forma e dimensione in relazione all'umidità e alla temperatura. L'umidità in questione viene espressa in %. Il legno, soprattutto se molto secco tende ad assorbire umidità dall'ambiente rigonfiandosi, se invece è troppo umido rilascia questa umidità all'ambiente ritirandosi e provocando a volte fessurazioni.

Valori % standard di umidità:

- Umidità legno: 9+2%
- U.R. Aria: tra il 45% e il 65%
- Temperatura: Tra i 15° C e i 25° C

Tale fenomeno è accentuato nei legni teneri, meno in quelli duri, provocando l'imbarcamento (curvatura) delle tavole di legno o spaccature nel tronco. Per ridurre i danni occorre sottoporre il legno ad una accurata stagionatura.

b) Proprietà meccaniche del legno:

Si riferiscono all'attitudine dei legnami a resistere alle sollecitazioni o a sforzi improvvisi. Sono buone anche se risultano condizionate dalla fibrosità del legno: la resistenza agli sforzi infatti varia secondo la direzione che questi hanno rispetto alle fibre.

DUREZZA: è la proprietà a lasciarsi penetrare da un corpo più duro. Il metodo più comune usato per determinare la durezza è il *Metodo Brinell*: misura il diametro dell'impronta circolare lasciata nel legno da una sfera in acciaio caricata con un carico variabile da 10 kg a 100 kg (normalmente si caricano 50 kg). La durezza viene espressa in Kg/mm². In base alla durezza si possono dividere i legnami in teneri e duri. Elevata nell'ebano e nel rovere, discreta nel teak, mogano e noce, modesta nel pino e nell'abete. In base alle proprietà meccaniche i legnami si suddividono in legni duri e in legni teneri. Per lo più sono duri i legni di piante latifoglie e teneri i legni di conifere.

- I legni duri o forti sono quelli dal tessuto legnoso duro e compatto (con peso specifico superiore a 0.55 kg/dm³) essendo le loro fibre più sottili e compatte, i più resistenti ed apprezzati. Usati in falegnameria ed ebanistica, tra questi troviamo il noce, il rovere ed il faggio;
- I legni teneri o dolci sono legnami più leggeri, dalla crescita rapida. Si tagliano con facilità ma a causa delle loro fibre larghe non consentono una buona lucidatura. Sono usati dall'industria per semilavorati lignei, per lavori di carpenteria, costruzioni in legno: abete,

betulla pioppo, tiglio. Generalmente hanno colore chiaro ed essendo alberi a crescita rapida vengono coltivati su scala industriale.

	Nome	Proprietà	Usi/impieghi
LEGNI TENERI	Pioppo	Legno poco resistente ma facilmente lavorabile	Mobili, casse da imballaggio, pasta per carta, compensati, fiammiferi
	Betulla	Leggero e pieghevole	Costruzioni, compensati, pasta per carta
	Larice	Legno pregiato dotato di elasticità e di lunga durata	Costruzioni navali, infissi, pavimenti, scale
	Abete	Si lavora facilmente	Costruzioni, infissi, mobili, per estrazione della cellulosa
	pino	Legno tenero molto resinoso, di lunga durata e molto resistente	Costruzioni navali, pali, ponti, scale, matite

LEGNI DURI	Faggio	Ha fibre molto unite e compatte, si presta bene all'incurvatura dopo essere stato sottoposto all'azione del vapore acqueo	Utensili domestici, imbarcazioni, mobili, sedie tipo vienna, pavimenti
	Noce	Resistente si lavora con facilità, ha belle venature	Mobili, intarsi, impiallacciatura
	Frassino	Robusto e flessibile	Attrezzi da ginnastica, stecche da biliardo, mobili
	Quercia	Molto duro, resistente ed elastico	Barche, travi, traversine ferroviarie, doghe per botti
	Mogano	Molto pregiato e pesante	Mobili pregiati, intarsi, impiallacciatura
	Palissandro	Duro, omogeneo, compatto	Mobili, lavori artistici, impiallacciatura
	ebano	Grana fine di difficile lavorazione	Intarsi, strumenti musicali

Tab.9. Classificazione legnami

ELASTICITA': proprietà del legno a riprendere la loro forma dopo una sollecitazione. In particolare il frassino;

TENACITA': proprietà del legno a resistere alle deformazioni di tipo statico quali trazione, compressione, flessione, torsione e taglio. Viene determinata dallo sforzo che si deve esercitare sul campione di legno in questione. Viene espressa in kg x cm². Il legno resiste bene alla trazione ed alla compressione se la forza agisce nel senso delle fibre, mentre si riduce a 1/10 in direzione perpendicolare. Alcuni legnami resistono bene alla flessione ma solo se esercitata in direzione perpendicolare alle fibre;

DURABILITA': E' la capacità che ha il legno di resistere all'azione di agenti esterni come funghi e insetti e dipende da particolari sostanze contenute nel durame, invece l'alburno è più suscettibile a questi attacchi in quanto è più tenero e contiene sostanze nutritive x funghi e insetti.

b) Proprietà tecnologiche del legno:

Si riferisce all'attitudine dei legnami a subire lavorazioni.

FENDIBILITA': La propensione del legno a fendersi in conseguenza dalla specie e in generale dalla lunghezza delle fibre che lo compongono e dalla nodosità;

ATTITUDINE AL TAGLIO: proprietà del legname a lasciarsi tagliare per mezzo di utensili vari con produzione di trucioli e segatura. Più facile è il taglio nel senso longitudinale alle fibre, meno facile è il taglio perpendicolare alle stesse. Le lavorazioni più precise si ottengono da noce, ebano e tiglio;

LUCIDABILITA': proprietà dei legnami di lasciarsi levigare per ottenere superfici lisce. Questa caratteristica varia da legno a legno e viene effettuata soprattutto dalle industrie del mobile, perché mette in risalto la grana e la venatura del legno ed è spiccata nelle essenze dure e compatte;

CURVABILITA': attitudine ad assumere deformazioni permanenti acustiche artificialmente. Questa caratteristica è maggiore nei legnami umidi e può essere aumentata immergendo il pezzo da curvare in acqua calda o trattandolo con vapore acqueo ad alta temperatura; viene sfruttata per costruire imbarcazioni e botti. Si curvano agevolmente faggio e frassino.

2.2.1. Difetti del legname

I fattori che contribuiscono a deteriorare il legno tanto da renderne meno pregiata la qualità sono molteplici. Le cause possono imputarsi a *condizioni metereologi* che ed ambientali avverse, come la mancanza di insolazione, la persistenza del gelo, la morfologia accentuata e la qualità sfavorevole del terreno, mentre certi fenomeni di degrado sono causati da guasti *derivati dall'uomo* o dagli animali che provocano lesioni e distacchi della corteccia fino ad intaccare le parti più interne del tronco; questi danni a volte sono di tale entità da provocare l'alterazione del legno favorendo l'ingresso dell'umidità e l'aggressione da parte di funghi, muffe e insetti.

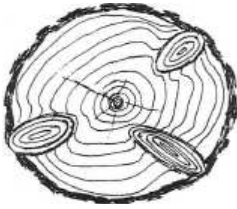
La presenza d'acqua e il suo ristagno intorno alle radici provoca una forma di asfissia con scarsa crescita e rapido deperimento della pianta; anche l'esistenza di una falda d'acqua troppo vicina alla superficie del terreno è spesso indice di una scarsa nutrizione dell'albero e, sebbene i fusti crescono in fretta, il legno è più leggero e poroso con minore compattezza delle fibre. Il legno che si ricava da questi tronchi è inadatto alla costruzione delle travi, ma può trovare applicazioni tagliato in pezzi di limitata dimensione per opere di non rilevante importanza.

I legni difettosi, chiamati legno di compressione e legno di tensione, derivano soprattutto da cause ambientali quando l'albero è sottoposto a pressioni o distensioni dovute a pesi mal distribuiti. I fusti contorti rientrano tra i difetti fisiologici delle piante; in tal caso le fibre non sono disposte parallelamente all'asse dell'albero, ma si avvitano a spirale lunga, così che durante la squadratura del tronco vengono tutte tagliate limitando la resistenza e le proprietà elastiche del legno con produzione di screpolature che impediscono di ricavare solide connessioni.

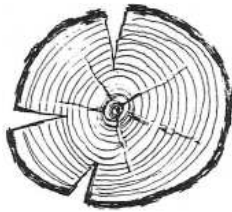
Il gelo eccessivo ed anche l'improvviso aumento di temperatura danneggiano i tronchi e provocando delle fessure longitudinali che rendono l'alburno facilmente attaccabile dai parassiti; le crepe se formate da diverse fessure separate da fibre legnose, si possono rimarginare durante l'accrescimento del fusto lasciando solo un cordone longitudinale come cicatrice esterna. La discontinuità però rimane e l'acqua piovana può penetrare attraverso i cretti provocando la cosiddetta grondaia, responsabile di alterazioni quali la putrefazione e la carie, che si diffondono nella massa legnosa.

NODI: Sono i punti di innesto dei rami nel tronco e sono dunque causati dall'anomale crescita dei rami dall'alburno verso l'interno, cioè nel durame. Hanno una massa volumetrica differente da quella del legno circostante, quindi si ritirano in modo diverso durante la stagionatura: quando il legno viene ridotto in tavole i vari pezzi del ramo si presentano come dei piccoli cerchi di colore diverso e quando sono attaccati al legno circostante si chiamano nodi vivi o sani (dimostrano che il ramo è stato tagliato

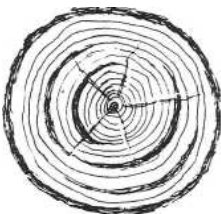
dopo l'abbattimento della pianta) e non compromettono la resistenza meccanica del legno, anzi possono essere considerati un pregio estetico; quando i nodi si staccano facilmente dal legno lasciano nella tavola un buco detto nodo morto (dimostra che il ramo è stato tagliato prima dell'abbattimento della pianta) ed in questo caso compromettono la qualità del legno e rendono l'asse di legno inutilizzabile;



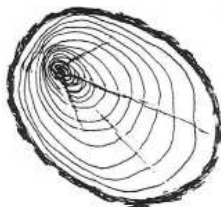
FENDITURE RADIALI: Sbalzi di temperatura o un troppo rapido essiccamento provocano nel durame delle fenditure ad andamento radiale. Esse, quando il durame stesso viene poi segato, diventano delle discontinuità e causano la rottura delle tavole;



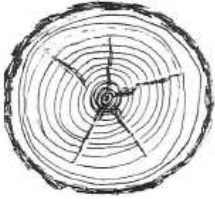
CIPOLLATURE: Sono provocate da una crescita non regolare, causata dal gelo o dal caldo eccessivo o dal vento, dell'alburno il cui spessore non è costante e consistono quindi nel distacco tra due anelli di crescita annuale consecutivi. Si formano così nel durame delle zone prive di legno. Questo difetto può evidenziarsi durante la stagionatura e, qualora il legno viene tagliato, causa la rottura delle tavole. Di conseguenza il legno con questo difetto non potrà essere usato come legno da costruzione;



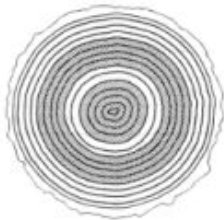
ECCENTRICITA' DEL MIDOLLO: L'eccentricità del midollo è causata dalla crescita della pianta su un terreno molto ripido o in zone molto ventilate e si presenta come una vistosa irregolarità degli anelli di crescita che assumono appunto un andamento accentrino. Questo comporta in fase di stagionatura un diverso ritiro causato dalla diversa densità e contenuto di acqua nelle fibre ed una seguente difficoltà nella lavorazione del legno;



SPACCATURE INTERNE O STELLATURA: Sono spaccature radiali causate dalle tensioni di crescita della pianta o dal maggior ritiro della parte centrale del tronco rispetto a quella della periferia.



LUNATURA: Per effetto del gelo, la parte interna dell'alburno non si trasforma in durame; si viene così a formare un doppio alburno, che influisce negativamente sulla compattezza, omogeneità e resistenza;



TORSIONE DELLE FIBRE: Si ha quando non sono parallele all'asse del fusto ma sono avvolte con andamento elicoidale. In questo caso dalla segagione si ottengono i pezzi le cui fibre, oltre ad essere interrotte lungo i margini, hanno andamento inclinato rispetto all'asse del pezzo stesso;



Fibratura elicoidale



Fibratura contorta

CANASTRO: è una alterazione del legno dovuta a sollecitazione costante di compressione per eccesso di peso o per il vento dominante, con la formazione di un tessuto di reazione molto più duro. Si verifica in genere alla base del tronco o sotto i grandi rami e si evidenzia per una colorazione molto più scura; il legno di cansastro non è utilizzabile perché soggetto a notevoli tensioni, che provocano deformazioni;



MAREZZATURA: è caratterizzata da un perimetro sinuoso e pieghettato del tronco; è tipica dell'ulivo e ne rende difficoltosa l'utilizzazione;



FUSTO AD ASSE VARIANTE CURVILINEO: il difetto che può essere connaturato col genere di pianta ma che può anche essere generato da condizioni ambientali sfavorevoli (venti dominanti, incombenza di altre piante o di ostacoli vari);

LEGNO DI TENSIONE: detto anche legno nervoso, si può verificare sul pioppo e il faggio alla base del tronco su alberi posti su terreno in pendenza e soggetti a venti dominanti. Si evidenzia nella regione trasversale del tronco per il colore bianco argenteo ed ha caratteristiche fisiche meccaniche inferiori a quelle del legno normale; anche il legno di tensione non può essere utilizzato.

2. 3. Fasi di lavorazione del legno

Per la produzione di legname da costruzione sono necessarie diverse fasi di lavorazione affinché dalla pianta in piedi si possano ottenere pezzi di svariata forma e dimensione adatti alle esigenze progettuali e di fabbricazione. La qualità finale del materiale dipende non solo dalle doti delle essenze arboree utilizzate, ma anche dalla cura con cui queste operazioni vengono effettuate. Le operazioni per ottenere un buon legname da costruzione sono quelle inerenti al taglio dell'albero, alla riduzione del tronco in travi e tavole di uso commerciale o per mezzo di sostanze asettiche.

Le varie operazioni possono dividersi in:

1- Abbattimento

2- Sramatura

3- Scortecciatura

4 - Trasporto tronchi

5 - Lisciviazione

6 - Segagione

7 - Stagionatura

1- Abbattimento:

L'abbattimento delle piante avviene generalmente in inverno. Il tronco viene tagliato nella posizione scelta e fatto cadere; la determinazione del punto di massima crescita della pianta risulta importante per il rendimento in legname del fusto. L'età del massimo vigore si determina con la semplice osservazione del tronco e delle foglie: l'accrescimento ha raggiunto il suo apice quando i getti annuali della cima sono deboli e meno allungati, la forma della chioma diviene rotondeggiante e le foglie ingialliscono alle prime avvisaglie autunnali partendo dalla sommità; la fase di deperimento viene raggiunta quando i rami più alti cominciano a morire e la corteccia risulta secca, fessurata e parzialmente staccata dal tronco.

Per la qualità del legname è di particolare importanza anche la stagione in cui viene effettuato l'abbattimento; normalmente dovrebbe corrispondere al periodo di sospensione della vita vegetativa delle piante quando l'attività fisiologica è minima, la linfa cessa di scorrere e il fusto è meno ricco di umidità quindi poco aggredibile dai parassiti; tagliando l'albero in questo periodo il legno si conserva meglio e risulta più facile completare l'essiccamento con la successiva operazione di stagionatura (da dicembre a febbraio-marzo).

Per il taglio delle piante resinose viene indicata come stagione migliore quella estiva: è questo il periodo in cui il legno risulta maggiormente saturo di resine e quindi più resistente alle intemperie, sempre che si provveda velocemente alla scortecciatura per evitare l'azione distruttiva dei parassiti del legno sulla parte più tenera sottostante alla corteccia. La stagionatura in questi casi è molto più lenta e spesso è accompagnata da screpolature longitudinali da cui cola in abbondanza la resina anche dopo la posa in opera.

Il taglio del tronco può essere effettuato in molti modi secondo i risultati che si vogliono ottenere: il più semplice consiste nell'incidere il fusto presso il pedale con la scure da taglialegna o una motosega (una sega a lama dentata a catena); una volta prefissata la direzione di caduta, questa viene agevolata da corde tese legate al fusto e ai pioli piantati sul terreno; si procede a un primo taglio da quella parte fino a superare il centro del tronco e quindi, in posizione opposta si pratica una nuova intaccatura sempre più profonda fino a raggiungere la prima.

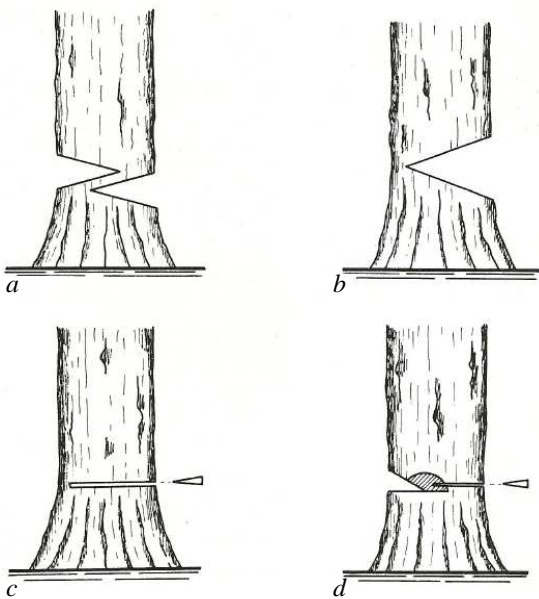


Fig.16. Il taglio del legno nel bosco:

- a) *taglio a scure a due angoli opposti;*
- b) *taglio a scure con angolo ampio;*
- c) *taglio a sega agevolato dall'interposizione a cunei;*
- d) *taglio a sega con intaccatura di direzione e intagli laterali in funzione di cerniera.*

Utilizzando la sega da tronchi, o la sega elettrica, il taglio inizia dalla parte destinata alla caduta e dopo aver staccato al piede del tronco un cuneo orizzontale per una profondità pari a circa 1/3 del diametro ed eseguito due incisioni laterali minori, la sega viene azionata dalla parte opposta da due taglialegna che la tengono orizzontale e il più possibile vicina a terra; il lavoro viene facilitato con l'inserimento di cunei lungo l'imboccatura del taglio per diminuire il peso del tronco sulla sega. Quando l'incisione posteriore e quella anteriore sono quasi unite, i cunei vengono forzati nel taglio con una mazza e insieme ad un sistema di funi in tensione analogo a quello precedente provocano la caduta dell'albero lasciando al suolo la ceppaia; questa può essere recuperata, tagliando le radici e svellonandola con leve oppure abbandonata per la produzione del ceduo destinato ad essere impiegato come combustibile.

2- Sramatura:

La sramatura consiste nel tagliare i rami e le grosse branche laterali prima o dopo l'abbattimento . Se si



Fig.17. Sramatura

vuole far perdere molta umidità al legno si lasciano attaccati i rami al tronco fin che la chioma non avvizzisce; in questo caso la traspirazione delle foglie accelera il fenomeno. I rami vengono utilizzati come combustibile se sono di piccole dimensioni. Gli attrezzi utilizzati sono le accette, le roncole e le seghe meccaniche di limitate dimensioni. Le branche di diametro notevole, destinate come i tronchi alla produzione di legname da costruzione, vengono calate tramite un sistema di corde, mentre il resto delle propaggini viene lasciato cadere al suolo

3- Scortecciatura:

La scortecciatura del fusto avviene solitamente dopo l'abbattimento, per favorire l'essiccazione e il trasporto. Alcune volte la corteccia viene lasciata per rallentare l'essiccazione o per difendere il tronco da muffe e funghi parassiti. Può avvenire in tempi diversi secondo il clima della zona di produzione del legname, ma sempre gradualmente per evitare che un troppo rapido denudamento provochi una forte evaporazione dell'umidità del tronco con formazione di spaccature periferiche; il disseccamento lento e uniforme del tronco si effettua togliendo la corteccia in strisce a spirale o longitudinali che vengono staccate in più fasi. Con temperature invernali miti il tronco e le branche di grandi dimensioni devono essere privati della scorza immediatamente prima dell'atterramento o subito dopo in modo che il legno non venga danneggiato dai parassiti, mentre nei climi più rigidi e piovosi del settentrione l'albero viene lasciato avvolto dalla corteccia fino all'estate successiva; ciò permette un maggior riparo dagli inconvenienti del gelo che potrebbe provocare ampie fenditure nelle parti superficiali. L'operazione di distacco della corteccia viene condotta con uno speciale attrezzo manuale detto *scorzatoio* costituito da una lama metallica orizzontale posta al fondo di un lungo manico; con questo si spinge il tagliente sotto la corteccia e si tagliano delle strisce continue di scorza. Gli attrezzi meccanici sono le macchine scortecciatrici, i coltelli rotanti o a disco e la scortecciatrice a fresa.

4- Trasporto tronchi:

Il trasporto è un problema importante perché incide sul prezzo del legname poiché generalmente la segheria, cioè lo stabilimento industriale nel quale i tronchi subiscono ulteriori lavorazioni, non si

trova vicino al luogo dell'abbattimento degli alberi, nasce quindi la necessità di trasportare i tronchi dal luogo dell'abbattimento alla segheria:

- *Trasporto per via terrestre*, dove i tronchi una volta giunti a valle vengono caricati su autocarri e



vengono trasportati alla segheria. Tale sistema di trasporto è estremamente sicuro per l'integrità dei tronchi, ma è molto costoso in quanto ogni automezzo in un singolo viaggio può portare un numero limitato di tronchi;



Molto meno caro è il *trasporto per ferrovia*, ma non sempre nei pressi del luogo dell'abbattimento è disponibile una linea ferroviaria.

- *Fluitazione*, trasporto per via fluviale, può essere usato questo sistema solo se vicino al bosco scorre



un corso d'acqua di notevole portata e la segheria sorge a valle sulle sue rive. In tal caso i tronchi vengono gettati in acqua, legati tra loro in modo da formare delle grosse zattere affinché non si urtino e si danneggino durante il viaggio, ed abbandonati alla corrente che li trasporta a valle. Quando le zattere arrivano nei pressi della segheria vengono fermate da reti disposte trasversalmente al corso d'acqua. Tale sistema di trasporto, non solo è gratuito e sicuro, ma, poiché durante il viaggio il legname è immerso nell'acqua, permette anche di render più breve la prima operazione che si compie sui tronchi quando essi arrivano in segheria, ossia il lavaggio.

Questo sistema di trasporto viene usato principalmente in Africa equatoriale, Asia e America Latina, dove la fluitazione è l'unico mezzo di trasporto possibile.

Fig.18. Trasporto via fluviale

-*Trasporto per via aerea*, con teleferiche che portano i tronchi dal bosco a valle. Questa è formata da un cavo metallico, sostenuto da tralicci, lungo il quale scorre una carrucola. Ad essa è fissato un gancio al quale con delle funi si legano i tronchi. Il loro peso fa scendere a valle la carrucola mentre un secondo cavo ne rallenta la corsa. Lo stesso cavo, trainato da un piccolo motore, provvede poi a riportare in alto la carrucola che durante la risalita è scarica. Tale sistema è sicuro e, superato il costo iniziale di costruzione della teleferica, anche abbastanza economico.

- *Scivolamento dei tronchi* lungo il pendio della montagna. Questo tipo di trasporto è però molto pericoloso per l'integrità dei tronchi, poiché essi possono facilmente subire danni a causa di urti contro alberi e rocce.

5- Lisciviazione:

Consiste nella prima operazione che i tronchi subiscono quando arrivano in segheria. Tale operazione ha lo scopo di eliminare dal legno quelle sostanze che possono imputridire, le linfe, in particolare quella elaborata che, contenendo degli zuccheri, è molto pericolosa poiché attira parassiti, funghi ed insetti. Esistono due tipi di lavaggi:

- I tronchi vengono gettati in vasche piene di acqua fredda corrente per molte settimane. Tale sistema richiede molto più tempo, ma è molto economico.

- Molto più breve è invece il sistema di lavaggio dei tronchi in vasche piene di acqua calda; l'operazione dura solo poche settimane poiché il calore dilata i vasi in cui scorre la linfa e ne facilita l'eliminazione, ma è di costo sostenuto perché bisogna acquistare il combustibile per alimentare le caldaie che provvedono a riscaldare l'acqua. La lavatura avviene accatastando i tronchi in ambienti chiusi (autoclavi) e sottoponendoli all'azione dell'acqua riscaldata.

- Il sistema più veloce, ma anche più costoso, è comunque quello di porre i tronchi in grandi celle chiuse nelle quali circola il vapore acqueo con una umidità del 100% e ad una temperatura di 90°-100°C, prodotto da caldaie, che in pochi giorni elimina tutta la linfa. Il costo dell'operazione è elevato a causa del combustibile necessario ad alimentare le caldaie;

6- Segagione:

Con la segagione si tagliano i tronchi in pezzi di formato commerciale: travi, travetti, assi, assicelle, panconi, tavole, pali ecc.. L'ideale per ottenere assi di buona qualità, non soggette a imparcatura, è il taglio perpendicolare agli anelli di accrescimento. Questo tipo di taglio, chiamato a quarto di ventaglio,

è quello più costoso in quanto comporta un alto spreco di materiale. Il taglio più economico è quello radiale col quale si ha un basso spreco di legname ma solo le assi centrali saranno stabili, quelle più vicine alla periferia saranno soggette a deformazioni.

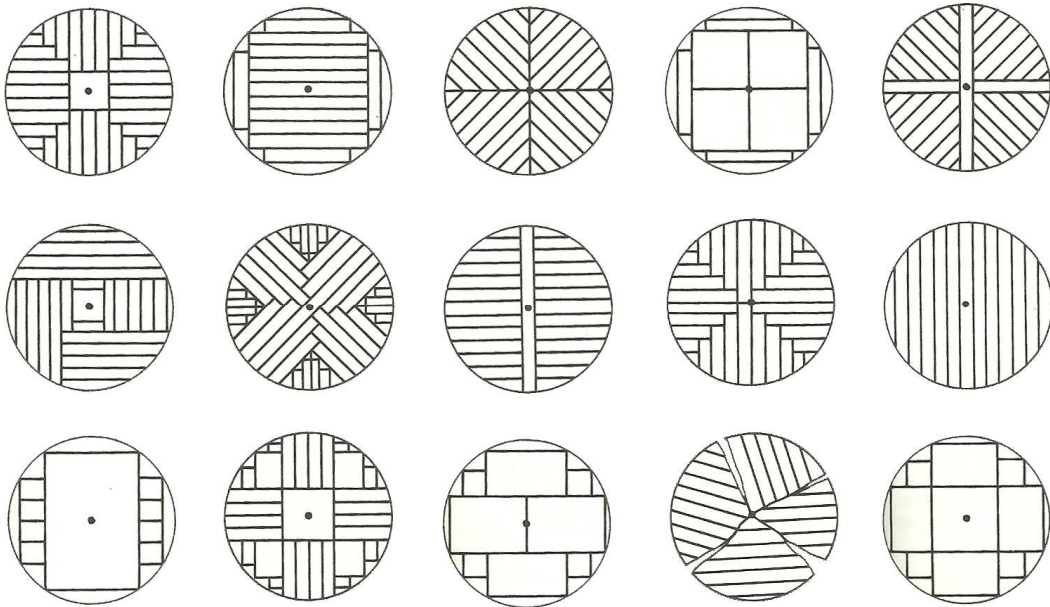


Fig.19. Esempi di schemi di taglio del tronco per ricavare segati di varia forma e dimensione

La forma, la dimensione e la lunghezza dei legnami tondi, quadrati o segati dipendono soprattutto dall'uso a cui debbono servire; nelle pratiche costruttive locali vengono stabiliti formati e suddivisioni in classe di assortimento che tendono a variare da regione a regione, secondo consuetudini derivate probabilmente dalla qualità del materiale usato come risorsa locale.

Per ridurre i sempre più alti costi del legno massiccio e per sopperire ai difetti del legno a curvarsi o a produrre nodi, cipollature, ecc., si sono sviluppati sempre più i derivati del legno:

- Compensato:

Formato da sottili fogli di legno incollati uno sull'altro e pressati fortemente a caldo. I fogli si ottengono per mezzo di macchine tranciatrici o sfogliatrici. I vari fogli, in numero dispari(il numero minimo è tre, ma si può arrivare anche ad uno spessore di 40 mm e allora il compensato si dice multistrato) vengono disposti in maniera da impedire che le variazioni di temperatura e di umidità possano provocare deformazioni, cioè disposti con le fibre perpendicolari rispetto a quelle del foglio adiacente; in tal modo ogni foglio si opporrà alle deformazioni dei fogli vicini. Il

materiale è molto stabile e resiste a sforzi esercitati in qualsiasi direzione; diventa cioè isotropo. I compensati meno pregiati si usano per imballaggi e per interni di mobili, mentre quelli più pregiati si usano per pareti divisorie, porte, controsoffittature, elementi prefabbricati ecc.;

- Truciolato:

Dagli scarti di falegnameria si ricavano trucioli e segatura che opportunamente trattati con colla e vapore ed opportunamente pressati, si ottengono i truciolati che impiallacciati con laminati plastici o con fogli di legno pregiato, danno garanzia di solidità ed economicità nell'industria del mobile;

- Paniforte:

Sono compensati che si ottengono incollando più listelli, disposti uno accanto all'altro, tra due fogli di legno; per questi si usa in genere legno pregiato, mentre i listelli interni sono di legno più scadente, ma ben stagionato. Si tratta di un materiale robusto, poco deformabile e molto economico, che viene largamente usato nella fabbricazione di mobili, di porte e pareti, in quanto ha notevole potere isolante, sia termico che acustico;

- Tamburato:

Adatto per la costruzione di porte, è costituito da due fogli esterni di compensato incollato su listelli di legno distanziati tra loro.

- Il linoleum:

Si ottiene mescolando olio di lino cotto, farina di sughero, farina di legno, pigmenti colorati e applicando la miscela su un supporto di tela di iuta in modo da formare un telo continuo che viene poi stagionato a caldo, per 20-25 giorni, in apposite stufe. Si usa come rivestimento di pareti e soprattutto per pavimenti

- Sandwich:

E' formato da due fogli esterni di compensato che racchiudono un'anima di materiale espanso a struttura a nido d'ape che gli conferisce leggerezza, resistenza e coibenza per realizzare pannelli isolanti termici e acustici.

- Masonite:

Agglomerato di frammenti di legno adatto per la sua leggerezza e flessibilità per realizzare lo schienale degli armadi, il fondo dei cassetti, ecc.

- Legno lamellare incollato:

Materiale composito, costituito da tavole di legno, di uno spessore che varia da 20 mm a 45 mm circa, che vengono incollate con sostanze di grande resistenza e quindi pressate a fibre parallele. Il

legno più usato è quello delle conifere. Oltre ad essere esteticamente molto apprezzato per l'aspetto gradevole, ha vaste possibilità di applicazione in quanto può essere realizzato in numerose forme e dimensioni. Possiede inoltre le seguenti caratteristiche tecniche: ottime proprietà meccaniche, peso specifico che è 1/5 di quello del conglomerato cementizio e 1/6 di quello dell'acciaio, il che determina un alleggerimento delle fondazioni e le possibilità di prefabbricazione; resistenza all'attacco di agenti chimici; elevata resistenza al fuoco: in caso di incendio la trave lamellare carbonizza in superficie ostacolando la penetrazione del fuoco. Grazie a tali caratteristiche le travi in legno lamellare vengono usate per ogni genere di strutture, anche con funzione portante, e in ogni settore dell'edilizia, per esempio per la costruzione di ponti, viadotti, dighe ecc., e come elementi di copertura in stadi, palestre, chiese;

7- Stagionatura:

Il legno è formato da cellule, ossia organismi che si riproducono finché sono vivi. Quando l'alburno si trasforma in durame le cellule del legno cessano di crescere, ma comunque conservano ancora per molto tempo una notevole attività, anche quando l'albero viene abbattuto ed il suo tronco ridotto in tavole. Tale attività provoca notevoli deformazioni delle forme commerciali del legno e degli oggetti con esse costruite; dunque le tavole non sono ancora pronte per essere lavorate perché le fibre del legno contengono molta acqua che attira insetti e produce funghi, acqua che comunque deve essere eliminata per ottenere un materiale compatto. Per ovviare a tale grave inconveniente bisogna attendere che le cellule abbiano cessato ogni attività. Questa operazione, durante la quale l'acqua evapora e le tavole di legno si asciugano e si riducono di dimensioni, può richiedere alcuni anni e si effettua in due modi:

- *Stagionatura naturale*, dove le tavole vengono messe in cataste ben areate, sollevate dal suolo e



protette da tettoie: l'acqua evaporerà spontaneamente. La durata della stagionatura naturale dipende dal tipo di legname, dal suo contenuto iniziale d'acqua, dallo spessore iniziale delle tavole, dalle condizioni atmosferiche iniziali.

Fig.20. Stagionatura naturale del legno

- *Stagionatura artificiale*, viene effettuata sistemando il legname in cataste in un apposito locale che viene poi invaso da fumi caldi o da vapore acqueo. Questa operazione dura pochi giorni.

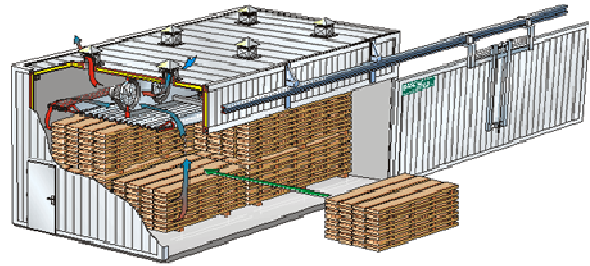


Fig.21. Stagionatura artificiale del legno

2. 4. Utilizzo del legno nell'architettura

- Preistoria e mondo antico:

Il legno, unitamente alla pietra, è stato uno dei primi materiali a cui l'architettura si è rivolta ed era anche l'unico che poteva indifferentemente essere impiegato a compressione, a trazione e, soprattutto, a flessione. In relazione alla diffusione del patrimonio boschivo il legno ha svolto ruoli diversificati: da materia esclusiva per l'integrale realizzazione delle dimore a materiale con specifiche funzioni come la costruzione di solai e coperture, oppure macchine e oggetti della vita quotidiana.



Fig.22. Costruzione palificata

Le costruzioni preistoriche centro-europee, per esempio quelle della cultura danubiana, erano formate dalla successione ravvicinata di pali in legno infissi nel terreno a cui hanno fatto seguito costruzioni a telaio ligneo dove gli elementi portanti verticali erano costituiti da pali-pilastri, delineando i fondamentali tipi strutturali per le costruzioni lignee. La scarsa durabilità del legno, rispetto alle costruzioni in pietra,

ha però cancellato il patrimonio edilizio in legno presente nei centri urbanizzati del mondo antico; dell'architettura egizia rimangono le grandiose e note opere monumentali ma poco conosciamo dei fitti nuclei di dimore in legno, canne e fango che le attorniavano. Nell'architettura greca antica il legno trova impiego essenzialmente nelle coperture dei templi; pur avendo la configurazione a falde erano realizzate sul principio della sovrapposizione di elementi inflessi e appare quasi completamente accertato che la tecnica greca non conoscesse l'uso della capriata. Nell'architettura romana il legno è ancora utilizzato per le coperture, per i solai degli edifici residenziali pluripiano e per le centine delle strutture archivoltate. Vitruvio (I secolo a.C.) si occupa del legno e individua nell'abete la specie più idonea per realizzare le travi dei solai. Viceversa in Vitruvio non appare il concetto di capriata e le illustrazioni di tali soluzioni costruttive, presenti nelle traduzioni del XVI secolo, sono essenzialmente dovute alla cultura rinascimentale dei traduttori. La copertura lignea a capriate appare in tarda epoca romana nelle basiliche pagane e quindi in quelle cristiane come nel caso di *San Paolo Fuori le Mura* le cui originarie capriate sono databili attorno al IV secolo d.C. Sempre in epoca romana si concretizza l'uso delle fondazioni su pali in legno per edifici in muratura. La tecnica romana impiega il legno anche nella costruzione di ponti temporanei come quello sul Danubio, progettato nel I sec. d.C.

- Medioevo e Rinascimento:

Durante il Medioevo l'impiego del legno si diversifica ulteriormente in funzione della tradizione locale e delle condizioni geografiche. Nelle regioni alpine e centro-europee continua lo sviluppo della costruzione interamente in legno (*blockbau*) e quella a telaio (*fachwerk*) con tamponamenti misti delle maglie.

In estremo Oriente il legno trova uso sia nella realizzazione di edifici residenziali sia di templi, con particolari e sofisticati sistemi di incastro degli elementi. In Cina si diffonde, dagli inizi del Secondo Millennio, per le opere pubbliche, l'uso di elementi lignei con sezioni standardizzati. Successivamente in Giappone si stabilirà, per la dimora privata, un sistema strutturale a telaio ligneo modulare.



Nel nord - Europa, in particolare nelle *stavkirke norvegesi*, al telaio ligneo si associano pareti in forti

tavoloni e il telaio in elevazione si collega alle complesse strutture delle coperture. In Gran Bretagna la dimora in legno segue la tradizione del sistema a telaio, mentre le capriate per gli edifici di maggiore impegno statico adottano soluzioni molto articolate con catena rialzata ed altri artifici.

Le case a telaio con tamponamento in muratura trovano diverse

interpretazioni in Francia, Germania e Austria. Nella Francia meridionale il telaio ligneo è spesso celato sotto l'intonaco, in Germania, viceversa, è sapientemente esibito come in Gran Bretagna. Nelle regioni dell'Est europeo la tradizione della dimora interamente in legno permane per secoli affiancandosi a quella in muratura.

Nel Rinascimento italiano il materiale è prevalentemente impiegato per solai, capriate e centine di cupole. Il Palladio sancisce i fondamentali tipi di capriate e codifica i principi delle strutture reticolari per i ponti, si occupa in generale del legno e specifica le modalità di esecuzione delle fondazioni su pali lignei.

Il legno è stato anche il materiale privilegiato per lo studio della trave inflessa. Leonardo da Vinci, nel Rinascimento, inizierà una serie di osservazioni sul proporzionamento delle sezioni resistenti e sulle deformazioni delle travi; nel



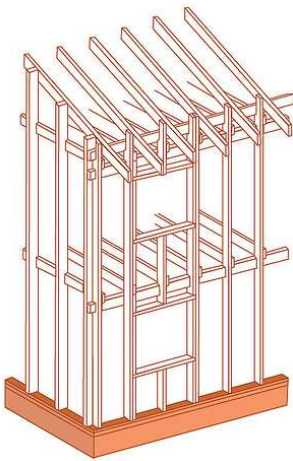
Fig.24. Ponte palladiano, Bassano dell'acqua

secolo successivo Galileo Galilei imposterà correttamente la metodologia di calcolo per determinare le sollecitazioni sulla trave inflessa, problema definitivamente risolto dalla scienza delle costruzioni dell'Ottocento con il contributo dei francesi J. A. Bresse, L. Navier e A. J. C. Barré de Saint-Venant.

Con la colonizzazione delle Americhe sono importati nel Nuovo Mondo i tipi costruttivi tradizionali europei della 'casa' in legno, tipo *blockbau*, e di quella a telaio, nelle più diverse interpretazioni, come pure i sistemi per realizzare le centine delle cupole e le capriate.

- Età moderna:

Dalle costruzioni legno massiccio si evolverà, nel Nord America, nella seconda metà dell'Ottocento, il



sistema *balloon frame* costituito da una intelaiatura di tavoloni in legno di dimensioni standardizzate unite con chiodatura. Impiegato dai pionieri del West, il sistema ha trovato ampia diffusione negli Stati Uniti nelle prime urbanizzazioni di Chicago e San Francisco, e ha continuato a trovare largo impiego nell'edificato residenziale dimensionalmente minore.

In Europa, fra Settecento e Ottocento, le strutture in legno coprono luci sempre più elevate con soluzioni strutturali spesso ibride; Betancourt propone per la *sala equestre di Mosca* un copertura a capriate di 48 metri di luce mentre i precedenti ponti in legno dello svizzero H. U. Grubenmann avevano strutture

Fig.25. Sistema balloon frame

iperstatica ad arcate reticolari. Per la copertura della *Galleria delle Macchine*

all'Esposizione di Copenaghen si utilizza un arco reticolare molto simile a quello disegnato da Palladio per i ponti, mentre per il *teatro di Karlsruhe* si fece ricorso alla curvatura forzata del legno per realizzare puntoni di capriate di 20 metri di luce. Questi puntoni erano formati da due tavoloni di grosso spessore stretti agli estremi e distanziati al centro da cunei fissati ai tavoloni. Lo stato di coazione così indotto nei tavoloni permetteva di realizzare puntoni lenticolari molto rigidi. Quando nell'Ottocento, grazie anche al contributo della teoria delle strutture, si raggiungono elevate luci con le strutture in legno (capriate, reticolari rettilinee, cupole reticolari e strutture lamellari), l'introduzione della ghisa e dell'acciaio ne decretano il declino, situazione che è rimasta tale fino alla seconda metà del Novecento con la diffusione del legno lamellare. Il lamellare trova origine nel sistema a tavoloni *a coltello* introdotto in Occidente ai primi del Trecento.

- *Età contemporanea:*

Da queste esperienze si svilupperà, in Svizzera e in Austria, agli inizi del Novecento, il moderno legno lamellare che permette la realizzazione di elementi rettilinei unitari fino a quaranta metri di luce ed elementi curvilinei e strutture reticolari spaziali di grande luce. Nonostante le ampie possibilità di grande luci con il legno lamellare (sono stati superati i 70 metri di luce con cupole in lamellare) anche il legno naturale ha ritrovato nuove applicazioni soprattutto nelle regioni in cui è rimasto vivo l'insegnamento della tradizione come in Finlandia e in centro Europa (Baviera, Austria, Svizzera). Analogamente in Giappone, luogo di antichissima tradizione costruttiva con il legno, diversi architetti sono attualmente impegnati nella rielaborazione delle soluzioni costruttive con questo materiale.

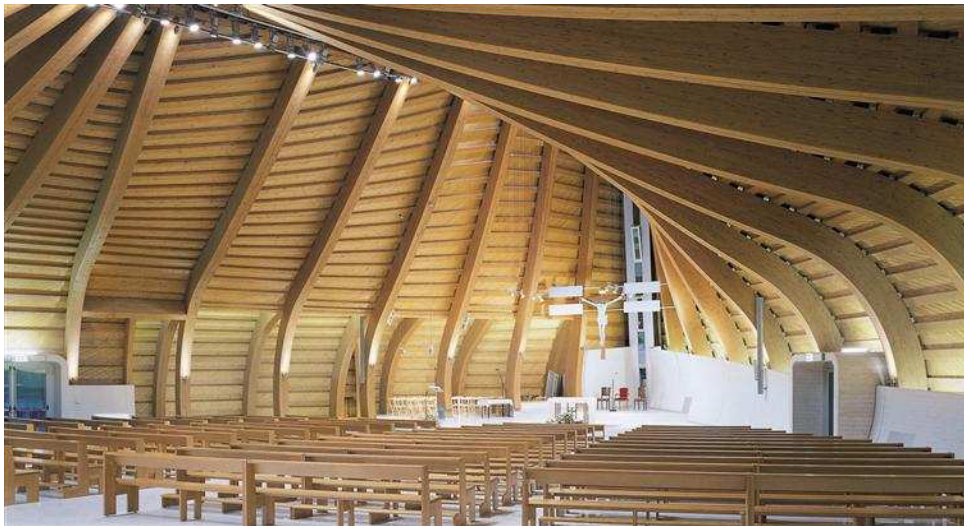


Fig.26. Chiesa di San Francesco, Imola, Italia



Fig.27. Wisa wooden Hotel, Helsinki, Finlandia

2.5. Normativa di riferimento

Elenco delle leggi, decreti, normative e norme UNI relative al legno:

2087 – Lastre di agglomerato ligneo

2088-2089 – Pannelli di fibra di legno

da 2641 a 2648 – Prove sui pannelli di legno compensato

da 2853 a 2854 – Nomenclatura delle specie legnose che vegetano in Italia

da 2817 a 2828 – Finestre, persiane, intelaiature ecc.

da 2983 a 2990 – Finestre, porta - finestre, cassonetti, ecc.

da 3000 a 3001 – Porte interne e specchiate

3016 – Difetti dei legnami

da 3193 a 3197 – Porte interne, porte d'ingresso, battenti

da 3200 a 3208 – Porte interne d'ingresso, specchiate, piane

da 3252 a 3266/52 – Prove sul legno e sui prodotti

da 3517 a 3518/54 – Nomenclatura dimensionale e misurazione degli assortimenti legnosi di
produzione nazionale

da 3746 a 3748 – Prove sui pannelli di fibra di legno

3917 – Nomenclatura commerciale dei legnami esotici di importazione

da 4143 a 4147 – Prove su legno e sui prodotti

da 4369 a 4371 – Prove sui pannelli di fibre di legno

da 4373 a 4376 – Tavole e listoni di legno per pavimenti

4390 – Nomenclatura dell'albero e delle sue parti

4391 – Essiccazione del legno

4712 – Prove sul legno e sui prodotti

da 4866 a 4867/61 – Pannelli di particelle di legno

da 4873 a 4872 – Perline di legno

da 5062 a 5068 – Prove sui pannelli di fibre di legno

da 6467 a 6472 – Compensati e paniforti

da 6473 a 6483 – Prove sui pannelli di legno e compensato e paniforti

6534 – Vetrazione

7557 – Prove di comportamento al fuoco dei materiali da costruzione e di elementi per l'edilizia

da 7677 a 7678 – Prove di comportamento al fuoco dei materiali da costruzione e per l'edilizia

da 7677 a 7678 – Prove di comportamento al fuoco dei materiali da costruzione e per l'edilizia

7697 – Vetrazione

7867 1/2/3/4 – Prestazioni edilizie-sistema tecnologico

8198/81 – Segati di conifere-classificazioni in base alla resistenza meccanica

8289-8290 – Prestazioni edilizie-sistema tecnologico

10012 – Ipotesi di carico sulle costruzioni

Norme ISO:

da 3008 a 3009 – Prove di comportamento al fuoco dei materiali da costruzione e di elementi per
l'edilizia

TC 55 – Legname segato e tronchi da sega

TC 89 – Pannelli di fibre

TC 92 – Prove di comportamento al fuoco dei materiali da costruzione e degli elementi di edifici

TC 99 – Legname semilavorato

TC 139 – Pannelli di legno compensato

TC 151 – Pannelli di particelle

TC 162 – Porte e finestre

TC 165 – Strutture di legno

Norme CEN:

CEN/CT 38: Metodi di prova dei prodotti per la preservazione del legno

CEN/CT 82: Prove tecnologiche delle porte, chiusure ed accessori corrispondenti

CEN/CT 83: Prove tecnologiche delle finestre, chiusure ed accessori corrispondenti

CEN/CT 91: Pannelli di particelle

CEN/CT 103 Colle per legno e materiali derivati dal legno

Circolari LL.PP.:

N. 4671 del 29/4/1946: Costruzioni in legname

N. 344 del 17/2/1950: Pannelli di fibre di legno

N. 905 del 9/3/1955: Applicazione di legni agglomerati nell'edilizia statale e sovvenzionata

N. 1/81826 del 5/11/1960: impiego del legno di castagno

N. 1/26401 del 4/4/1961: impiego del legno di castagno

Leggi e decreti:

- Decreto ministeriale del 30/10/1912: norme e condizioni per le prove e l'accettazione dei legnami
- Decreto del Presidente della Repubblica del 24/12/1969: Norme sulla classificazione del legname
Grezzo
- Decreto Ministeriale del 6/3/1986: Calcolo del carico di incendio per locali aventi strutture portanti in legno

Il legno, come tutti i materiali da costruzione, necessita di accurate prove di collaudo, per poter essere impiegato nel campo degli elementi costruttivi quali tetti, ponteggi, serramenti, pavimenti, ecc. Per quanto concerne queste prove sul legname, a tutt'oggi, si fa esplicito riferimento al D.M. del 30/10/1912, pubblicato sulla G.U. n. 285 del 4/12/1912, in cui vi sono riportati, con minuziosa descrizione di particolari, tutti i collaudi a cui devono essere sottoposti i provini di legno.

3. LEGANTI

Il legante è una sostanza che, impastata con acqua ed elementi granulari inerti, forma un composto semifluido denominato malta che, che in un periodo di tempo più o meno lungo, indurisce e per le sue proprietà adesive collega tra loro i laterizi e le pietre delle murature. Il legante è responsabile dell'indurimento dell'impasto che, alla fine del periodo di presa, forma con i componenti della muratura un pezzo unico dotato di una certa compattezza e in grado di resistere alle sollecitazioni meccaniche e agli agenti atmosferici.

La classificazione tradizionale dei leganti si basa sulla proprietà di rendere duro l'impasto di malta all'aria oppure a contatto con l'acqua; da questo nasce la suddivisione in leganti aerei, classe che comprende il gesso, la calce aerea, i leganti idraulici, il cemento e i suoi derivati.

- a) *Gesso*
- b) *Calci , aeree e idrauliche*
- c) *Cemento*

3.1 Genesi e classificazione del gesso

Rappresenta il primo tipo di legante prodotto dall'uomo e viene impiegato fin dall'antichità per i sistemi di fabbricazione abbastanza semplici. Il suo uso nasce forse nel Medio Oriente, dove tuttora esistono grandi affioramenti di rocce adatte alla produzione di gesso e si diffonde soprattutto in Egitto al tempo delle antiche dinastie. L'Italia è ricca di giacimenti, tra cui si possono elencare quelli lungo il lago d'Iseo, del versante adriatico, dell'Appennino Emiliano e Marchigiano e in Sicilia.

Viene impiegato nell'edilizia storica soprattutto per la proprietà di fare presa e indurire rapidamente; viene quindi usato come legante per aggregare mattoni o pietre, oppure per realizzare stucchi e decorazioni ed anche sotto forma di pasta molto fluida (boiaccia) iniettata nelle murature per intervenire rapidamente quando necessitino operazioni di consolidamento dei fabbricati.

Il **gesso** è un materiale di aspetto bianco-grigio e polveroso e si ricava dalla cottura di rocce selentinose costituite da *solfo biidrato di calcio* $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Tale minerale si presenta in tre varietà quali la selenite e l'alabastro, la sericolite.

Il minerale cuocendo perde parte dell'acqua di combinazione trasformandosi in semidrato; con l'aumento della temperatura i prodotti che derivano dalla calcinazione assumono caratteristiche diverse e possono essere utilizzati per svariati impieghi.

Principali gessi impiegati in edilizia:

- Gesso fino, con cottura attorno ai 130° si ottiene il semidrato che macinato finemente viene usato per lavori di modellistica e stucco; viene comunemente commercializzato col nome di *scagliola*;
- Gesso comune, detto da presa, ottenuto per cottura intorno ai 170° e usato in edilizia per posizionamento di manufatti e per stucchi ed è a presa rapida;
- Gesso forte, detto gesso morto, per cottura fino a 300°; ha notevole resistenza ma una presa lenta. Salendo oltre i 300° il prodotto che ne deriva non fa più presa e viene usato macinato per costruire impasti per decorazioni;
- Gesso per pavimenti o calcinato, ottenuto per calcinazione del minerale a 900° è un prodotto durissimo, di alta resistenza, che serve come gesso per sottofondo di pavimenti da incollare, per superfici lisce con alta resistenza;
- Gesso sabbiato, è costituito dall'impasto di gesso con sabbia fine in opportune quantità, a seconda di presa e lavorabilità. Molto utilizzato negli Stati Uniti per intonachi e arricciature (è necessaria la sola aggiunta di acqua) di solito presentano un rapporto 1/3 gesso 2/3 sabbia. Solitamente se non si supera il 50% di sabbia fine la miscela è ottima per intonachi decorativi;
- Gesso alla calce, al gesso è aggiunta calce idratata in polvere, il composto unito alla sabbia è utilizzato per realizzare buone malte bastarde, con buona resistenza, presa più lenta e maggiore del gesso;
- Gesso con fibre di legno, è costituito con l'aggiunta di fibre di legno come aggreganti secondo le norme americane; le fibre in legno possono essere inserite nella percentuale massima del 15%; con questo tipo di gesso si producono pannelli, blocchi e lastre per muri e tramezzi;
- Gesso alla vermiculite o conglomerati leggeri, l'impasto è utilizzato per la fabbricazione di lastre e pannelli leggerissimi, antiacustici e antitermici. La vermiculite aumenta le caratteristiche fisiche del gesso regolando la naturale assorbenza in fase di formatura. I pannelli prefabbricati sono largamente utilizzati all'estero nell'edilizia (Stati Uniti ed nord Europa);
- Gesso per stucchi e decorazione d'interni, le caratteristiche dei gessi utilizzati per la produzione di stucchi decorativi devono essere di alta qualità, con basso assorbimento (per la successiva tinteggiatura con vernici a base acquosa), perfetta finitura superficiale. Il tipo di gesso utilizzato e la sua miscela influenza quindi la qualità del prodotto finale ottenuto, la cornice.

3.1.1. Requisiti tecnici del gesso

In base alle diverse caratteristiche strutturali descritte precedentemente si può constatare che il gesso:

- possiede buon potere adesivo ed è facilmente lavorabile;
- non si ritira e può essere lavorato senza inerti (presenta un aumento di volume del 0.3-1.5%, quindi trascurabile in edilizia);
- permette di ottenere superfici fini e lisce;
- è resistente al fuoco, termoisolante e fonoisolante;
- corrode le superfici di acciaio non protette e diventa molle se assorbe umidità (tranne l'idrorepellente).

3.1.2. Fasi di lavorazione del gesso

Le diverse fasi di lavorazione del gesso consistono in:

1-Estrazione

2- Cottura

3-Macinazione

1- Estrazione:

In Europa i maggiori giacimenti di gesso si trovano in Francia (bacino di Parigi), in Germania, in Svizzera e in Grecia, mentre in Inghilterra e Austria si rinvengono ammassi di minore importanza.

I sistemi di estrazione tradizionali sono semplici e la roccia, per la sua scarsa consistenza, viene estratta con leve e cunei aprendo un fronte di cava a forma di anfiteatro lungo gli affioramenti, dopo aver asportato dalla zona il terreno vegetale.

Nelle cave in galleria viene usata una tecnica più complessa; quando il giacimento è ricoperto da una coltre di terreno eterogeneo, viene realizzato un pozzo armato verticale fino a raggiungere la massa gessosa; da qui il minerale viene estratto fino a formare una camera che, in funzione della stabilità della roccia, può raggiungere 40 m di altezza e altrettanto di diametro. Quando una camera non può più essere ampliata, viene abbandonata e se ne scavano altre intorno.

L'uso dell'esplosivo semplifica i lavori di cava e permette il distacco di grossi massi; con mine di bassa potenza e con macchine frantumatrici i blocchi estratti dalle cave vengono ridotti di misura fino a raggiungere le dimensioni richieste dagli impianti di cottura o di triturazione. A questo punto viene raccolto e immagazzinato in silos appositi.

2- Cottura:

Dai silos il gesso viene prelevato e inviato ai forni. I processi industriali di preparazione del gesso semidrato o gesso cotto (che costituisce il materiale più largamente usato in edilizia) possono essere così classificati:

a) *preparazione mediante procedimenti a secco a temperatura al di sopra di 125° C*

b) *preparazione mediante procedimenti a umido a temperature maggiori o eguali a 1000 °C*

a) Preparazione mediante procedimenti a secco a temperatura al di sopra di 125° C:

Nei sistemi a secco la cottura avviene a temperatura più elevata e con velocità più alta, causa il forte gradiente di temperatura esistente fra prodotto da cuocere e mezzo riscaldante; la eliminazione dell'acqua porta ad un residuo costituito da particelle molto suddivise e si ottiene prevalentemente gesso emidrato beta. Esistono differenti tipi di forno e di cottura del gesso:

- *Forni rotanti a funzionamento continuo: a fuoco diretto*; il forno è costituito da un cilindro metallico rotante che viene riscaldato esternamente dai gas caldi provenienti da un focolare. I gas caldi vengono fatti passare anche all'interno del forno in un tubo coassiale, in modo da non venire a contatto col materiale in cottura. Il gesso crudo viene alimentato in graniglia ed il prodotto deve essere macinato.

A fuoco misto; il forno è costituito da due cilindri concentrici in cui parte del gesso è cotto a fuoco diretto e parte a fuoco indiretto.

- *Forni rotanti a funzionamento discontinuo*: sono costituiti da un cilindro metallico rotante disposto orizzontalmente che viene riscaldato a fuoco indiretto. La carica, costituita da gesso macinato, viene introdotta nel forno dove viene rimescolata con opportuni agitatori. Lo scarico del materiale cotto si fa invertendo il senso di rotazione del forno. Generalmente dopo ogni ciclo si scarica una quantità di materiale pari alla metà della carica introdotta.

- *Forni statici a funzionamento continuo: a fuoco indiretto*; sono forni a ripiani sovrapposti in cui un sistema di coclee fa avanzare il gesso in direzioni opposte tra uno strato e l'altro. Il riscaldamento indiretto viene realizzato con olio o vapore d'acqua surriscaldato, e si raggiunge una buona regolazione della temperatura.

A fuoco diretto; il forno è del tipo a torre verticale, costituito da una struttura portante di cemento armato rivestita internamente da una camicia di mattoni comuni. Tra la struttura portante esterna e

la camicia di mattoni comuni viene solitamente interposto del materiale incoerente che ha la funzione di assorbire le sollecitazioni dinamiche causate dalle variabili di temperatura. Il gesso crudo viene caricato da aperture disposte nella parte superiore del forno. Al fondo del forno si trova il focolare nel quale viene bruciato il combustibile, generando in tal modo una corrente ascendente di gas caldi i quali, passando attraverso la massa di materiale crudo, ne provocano la disidratazione. Il vapore acqueo ceduto dal gesso esce con la corrente di gas caldi dalla sommità del forno. Il prodotto cotto viene estratto dalla zona inferiore ed inviato alle successive operazioni.

- *Forni statici a funzionamento discontinuo*: a fuoco diretto; queste apparecchiature sono rappresentate dai "forni a caldaia" o "forni a marmitta" e dai "forni a padella". I forni a marmitta sono costituiti da un recipiente cilindrico in lamiera, al fondo del quale è posto un focolare in muratura. All'interno un agitatore provvede a rimescolare la massa durante la disidratazione. Nelle apparecchiature più recenti il riscaldamento della marmitta viene effettuato lungo tutta la sua superficie mediante percorsi obbligati del gas caldo. Il gesso viene caricato in polvere fine nella marmitta ed il continuo rimescolamento cui è soggetto consente di realizzare una distribuzione uniforme della temperatura ed il facile allontanamento del vapore d'acqua che si sviluppa. I gas caldi ed il vapor d'acqua si scaricano dalla parte superiore dell'apparecchiatura. Il prodotto cotto viene scaricato inferiormente dopo che è stato raggiunto il grado di cottura desiderato. I forni a padella sono analoghi a quelli a marmitta, però il recipiente cilindrico ha un diametro superiore all'altezza.

b) Preparazione mediante procedimenti a umido a temperature maggiori o eguali a 1000 °C:

Sostanzialmente questi processi consistono in una cottura del biidrato in 'opportune caldaie o in forni speciali a varie temperature per ottenere rispettivamente le varie forme di gesso cotto.

La cottura ad umido porta ad emidrato alfa. Per ottenere questa forma è necessario infatti operare la calcinazione in ambiente di vapore saturo, poiché l'emidrato alfa può solo cristallizzare da una soluzione ed è perciò necessario avere almeno aderente alla superficie dei granuli in cottura un film di acqua. Una elevata pressione parziale di vapore d'acqua consente di evitare la formazione di gesso stracotto. Queste necessarie condizioni si realizzano in autoclavi ed anche, in misura minore, nel processo a secco, ma in caldaie di grandi dimensioni nelle quali si ha uno strato di materiale elevato, così che nelle zone più basse della caldaia, durante gran parte del periodo di cottura, si viene ad avere una pressione di vapore sensibilmente alta.

In questi casi si ottengono prodotti con un' elevata percentuale di fase alfa; nelle grosse caldaie più recenti si può arrivare ad ottenere un gesso formato per il 75% ed oltre della forma alfa.

La percentuale di emidrato alfa può essere ulteriormente accresciuta mediante aggiunta alla carica di sali igroscopici che abbassano la pressione parziale del vapore nella zona di cottura. Esistono differenti tipi di forno e di cottura del gesso:

- *Forni a marmitta:* sono costituiti da cilindri di 1-5m di altezza e di 2-3 m di diametro, riscaldati indirettamente dai gas caldi della combustione capaci di dare fino a 15-20 tonnellate di prodotto per ogni operazione; il materiale ridotto in granuli della grossezza di circa 3/4 mm sono mossi continuamente dall'azione di un agitatore con bande di trascinamento sul fondo. La cottura è rapida, 2-3 ore, ma irregolare; il consumo di calore è abbastanza elevato e si aggira intorno alle 1046-1884 KJ/kg (50-450 kcal/kg) di gesso cotto.

Attualmente si dà la preferenza a forni più alti nei quali una maggiore altezza della carica rallenta la velocità di cottura, ma anche l'eliminazione del vapore d'acqua e quindi porta ad un prodotto più ricco di emidrato alfa e di caratteristiche più omogenee. Questi forni hanno le pareti laterali munite di tubazioni percorse dai prodotti di combustione, ciò che assicura una maggiore superficie riscaldante; inoltre il materiale da cuocere è macinato più finemente ed è talora preessiccato, sempre utilizzando i gas di scarico, il consumo di combustibile è dell'ordine delle 1255 kJ/kg di gesso cotto. L'operazione è discontinua: si carica il materiale macinato, si eleva gradualmente la temperatura fino verso 120-130° C; a questo punto lo sviluppo di vapore provoca ebollizione che ha termine quando la temperatura raggiunge i 150-160° C, a questo punto si nota una netta diminuzione di volume della massa del 10-15% il che indica l'avvenuta trasformazione in semidrato della gran parte del gesso caricato. Se si prosegue il riscaldamento verso i 170-180° C la massa costituita dalla forma semiidrato col 5-6% di acqua, entra nuovamente in ebollizione sia pure in maniera meno intensa e per minore tempo e si raggiunge la completa disidratazione del materiale. Il volume della massa si riduce ancora del 15-18%. Il gesso ottenuto è costituito in gran parte da anidrite solubile, con percentuali variabili di emidrato e di anidrite a lenta presa; presenta minore plasticità, ma maggiore densità e resistenza del precedente.

- *Forni a continui:* specie rotativi, del diametro di circa 2 m e della lunghezza di 20-40 m dove il materiale, di granulometria inferiore a 15-20 mm viene cotto in circa un'ora in corrente di gas caldi a temperatura tra i 100-200° C circa; il consumo di calore è dell'ordine di 1170-1235 KJ/kg di gesso

cotto. Poiché in questo caso la regolazione del calore è molto difficile il prodotto ha caratteristiche di uniformità inferiori, potendo contenere gesso ancora crudo insieme ad altro a diverso grado di calcinazione. Tale gesso, se è adatto per intonaci o per blocchi o pannelli, non lo è per modelli. Si può ovviare almeno in parte alla scarsa uniformità macinando il prodotto ancora caldo appena scaricato dal forno; sotto l'azione del calore residuo e di quello che si produce nella macinazione il materiale poco cotto può continuare a perdere acqua, la quale può essere presa, almeno in parte, da quello troppo cotto che così si reidrata parzialmente. Si hanno anche forni continui a piani nei quali il gesso da calcinare, in granuli di dimensioni inferiori ai 5-6 mm, scende dall'alto ed è spostato da un piano all'altro per mezzo di braccia fissate ad un albero centrale ruotante.

- *Forni a verticali:* a 900-1100° C della pietra da gesso od anche di anidrite naturale, in pezzi di 10-20 cm si ottiene il cosiddetto gesso da pavimenti costituito da anidrite accompagnata da CaO. La cottura può essere fatta per contatto diretto o indiretto col mezzo riscaldante; il CaO presente, che agisce come accelerante, può derivare dalla dissociazione di un po' di carbonato presente come impurezza o anche da decomposizione del CaSO₄ stesso. La macinazione del prodotto non viene di solito molto spinta; il tempo di presa varia da 4 a 36 ore.
- *Forni a griglia:* come indica il suo nome, da una griglia metallica senza fine sulla quale si carica il materiale; questo è preventivamente frazionato in granulometrie diverse e le singole frazioni provenienti da tramogge distinte sono distribuite sulla griglia in strati successivi, quelli a granulometria più fine in basso e gli altri più sopra. Il nastro si muove lentamente, 15-20 m/h, al disotto di una camera comunicante con la zona di combustione. I gas caldi a 900-1000° C attraversano gli strati sovrapposti di materiale raccogliendosi al di sotto della griglia; parte di essi vanno al camino gli altri ritornano in circolo. Il rendimento termico di questi forni a griglia è elevato, superiore al 70%; il prodotto di cottura risulta da una miscela di anidrite insolubile e solubile accompagnata da un po' di emidrato.

Nel processo di cottura ad umido il gesso in pezzi da 10 a 80 mm viene sottoposto in autoclave all'azione di vapore saturo alla temperatura di 110-150° C; scaricato il vapore, l'emidrato è essiccato e macinato al di sopra di 80-90° C per evitare la formazione di nuovo biidrato.

Dal punto di vista delle proprietà meccaniche dei manufatti induriti un trattamento più prolungato a bassa temperatura è preferibile ad uno più rapido ad alta temperatura, poiché, a parità di altre

condizioni, nel primo caso si formano cristalli alfa piuttosto piccoli e nel secondo caso invece cristalli più grandi, aghiformi. L'aggiunta di piccole percentuali di sali alcalini o di acidi organici durante la cottura favorisce l'ottenimento di prodotti capaci di migliorare le caratteristiche, meccaniche; essi abbassano la temperatura di decomposizione, modificando la forma dei cristalli di emidrato alfa, fanno aumentare il tenore di emidrato alfa, con conseguente incremento della densità del prodotto e delle proprietà meccaniche dei manufatti.

3 - Macinazione:

Dopo la cottura il gesso viene macinato fino ad ottenere una polvere più o meno grossolana e la sua granulometria dipende soprattutto dal tipo di produzione e dalle impurità della roccia originaria.

Il gesso è molto igroscopico e tende ad alterarsi a causa dell'umidità dell'aria perdendo le caratteristiche di adesione e di presa. La sua conservazione avviene in sacchi posti su un tavolato di legno, in ambienti chiusi e non a ridosso delle murature. Quando è necessario conservarlo in mucchi, il gesso viene bagnato in superficie con una piccola quantità d'acqua irrorata a spruzzo in modo che si formi una sottile crosta esterna impermeabile.

3.1.3. Utilizzo del gesso nell'architettura

- Blocchi per tramezzi:

Per la costruzione di pareti divisorie si impiegano, da noi, blocchi e lastre piane, oppure forate, in conglomerato cementizio areato, oppure in conglomerato leggero di pomice; questi blocchi hanno dimensioni maggiori di quelle dei laterizi forati e pertanto richiedono per la messa in opera minore tempo e minore malta. All'estero, oltre alle lastre suddette, vengono usate molto più diffusamente le lastre e i blocchi prefabbricati in gesso semplice od espanso, misto a segatura di legno, fibre di cocco, canna da zucchero, setole, granuli di sughero od altri materiali analoghi. La ragione di tale preferenza accordata è dovuta al fatto che in alcuni paesi il gesso costa meno del cemento e del laterizio, ed inoltre tanto la fabbricazione che la utilizzazione del gesso è stata oggetto di attenti studi e ricerche che hanno messo in luce le pregevoli caratteristiche di tale materiale e le sue infinite possibilità di trasformazione superficiale e profonda, per renderlo più idoneo agli usi specifici cui è destinato. Infatti con uno studio appropriato degli impasti e con una organizzazione razionale dei cicli lavorativi è possibile portare la produzione dei manufatti in gesso su di un piano altamente produttivo e redditizio, con notevole risparmio di tempo, di lavorazioni complicate e laboriose e di mano d'opera nei confronti delle

corrispondenti lavorazioni a cui debbono essere sottoposti i conglomerati cementiti. Conseguentemente anche il costo finale dei manufatti in gesso viene ad essere ridotto in modo così sensibilmente da risultare inferiore a quello dei corrispondenti manufatti in laterizio o cemento, i quali peraltro si trovano in netto svantaggio sul piano delle caratteristiche naturali. Il tipo di malta da impiegare per la costruzione dei blocchi è quella preparata con gesso da muratore o gesso comune, idratato in modo da garantire la massima resa, e misto a sabbia fine lavata e depurata.

Alla malta suddetta si unisce la calce grassa spenta, la quale oltre a reagire con la silice della sabbia formando un silicato monocalcico duro e impermeabile, favorisce sensibilmente le ulteriori operazioni di indurimento a cui si sottopongono questi manufatti. I materiali di riempimento e di rinforzo sono costituiti da fibre di cocco e di canna da zucchero, setole, paglia, stoppa, segatura di legno, granuli di sughero, mica in fibre, vermiculite, rete, fili, piattine e tondini metallici di vario tipo. Le dimensioni normali dei blocchi sono comprese fra i 20÷30 cm di altezza ed i 40÷50 cm di lunghezza, mentre la larghezza può essere di 10, 15, 20 e 25 cm.

- Lastre per tramezze:

Le lastre si differenziano dai blocchi per le dimensioni maggiori e lo spessore minore. In genere esse

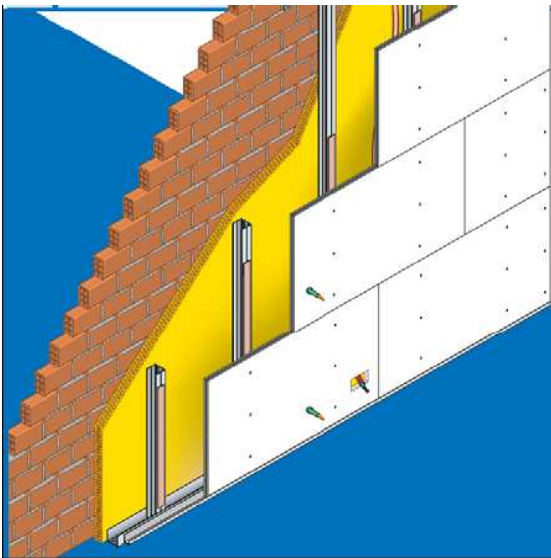


Fig.28. Lastre per tramezze

misurano 40÷50 cm di altezza, 60÷65 cm di lunghezza e spessore variabile da 5 a 15 cm. Quando le lastre sono destinate alla costruzione di pareti isolanti esterne ed interne, da appoggiare direttamente sulla muratura in pietra o calcestruzzo oppure ossature in legno, le loro dimensioni possono raggiungere i 100÷200 cm di lunghezza, mentre la larghezza viene ridotta a 25÷30 cm e lo spessore a 5÷6 cm. Gli orli delle lastre sono sagomati a forma di incastro a battente od a coda di rondine, in modo da permettere la rapida e perfetta unione dei diversi elementi. L'armatura interna delle lastre è costituita da

intrecci di fibre vegetali lunghe e resistenti miste eventualmente a granuli ed a fibre più corte per diminuire il peso del manufatto. Per accrescere la resistenza agli urti (resistenza trasversale) ed alle vibrazioni si impiegano carte speciali, tele collate e reti metalliche che si dispongono sulla malta di gesso alternandole a questa in più strati sovrapposti. Se le lastre devono sopportare carichi o pressioni rilevanti e debbono resistere a continue e discrete

sollecitazioni meccaniche, si deve provvedere ad annegare nella malta di gesso e fibre vegetali, dei tondini o piastrine di ferro zincato intrecciati fra loro o con fili più sottili, in modo da costituire una solida armatura metallica. La formatura delle lastre si effettua a mano per compressione in stampi metallici oppure, per produzioni di un certo rilievo, con apposite macchine dette calandre. Il montaggio delle lastre può avvenire a secco, quando la tramezza od il rivestimento deve essere smontabile, mentre per costruzioni fisse si impiega malta di gesso fluida o preferibilmente gli stucchi di gesso plastico od i mastici di gesso, a cui si possono miscelare fibre corte di cocco, sisal o manilla per ottenere un bloccaggio più stabile ed elastico. L'applicazione più interessante delle lastre è costituita dalla costruzione delle doppie pareti, nelle quali si può elevare sensibilmente il potere isolante e fono-assorbente riempiendo l'intercapedine con materassini di lana di vetro o minerale oppure di vermiculite o perlite espansa (racchiuse in involucri di plastica in modo da formare una specie di cuscinetto). Le costruzioni a doppia parete in lastre di gesso sono particolarmente indicate per porte e serramenti scorrevoli dove realizzano la duplice funzione di una più facile ispezionabilità degli elementi interni e di un sensibile smorzamento dei rumori.

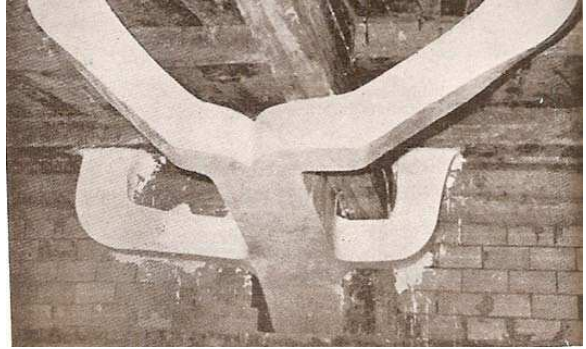
- Pavimentazioni in gesso:

L'impiego del gesso per pavimentazioni è alquanto limitato date le sue caratteristiche negative per tale genere di lavoro dove si richiede una elevata resistenza alle sollecitazioni meccaniche ed una spiccata impermeabilità ai liquidi. Esso trova invece una vasta applicazione nelle formulazioni leganti, mastici e cementi per pavimentazioni di fabbricati rurali ed industriali dove esercita una duplice funzione di riempitivo od aggregato minerale e di migliorante delle composizioni. Ma l'applicazione più importante del gesso nel campo delle pavimentazioni è quella riguardante l'attenuazione dei rumori negli edifici civili ed industriali. Inoltre le pavimentazioni in gesso costituiscono un sottofondo ideale, migliore di quello in conglomerato cementizio, per rivestimenti o coperture di linoleum, gomma e laminati plastici in genere.

Dobbiamo infine notare che adoperando gesso da pavimenti di ottima qualità si possono ottenere pavimentazioni esenti da efflorescenze e da fessurazioni, dotate di elevato potere isolante e perfetta incombustibilità, ed aventi una resistenza alla compressione di 1100 N/cm² dopo 7 giorni e 1700 N/cm² dopo 28 giorni.

- Condotte per impianti di condizionamento:

Tali canalizzazioni vengono realizzate con impasti di gesso finissimo addizionati quasi sempre con soluzioni di resine sintetiche o di colle in modo da migliorarne le caratteristiche meccaniche e soprattutto da rendere le superfici dei manufatti più omogenee e compatte. Questo tipo di canali risultano più economiche e migliori dal punto di vista tecnico rispetto a quelle in lamiera. La resistenza del manufatto è affidata alla presenza di un continuo e sottile materassino in fibre vegetali, oltre che alla presenza di un'armatura di tondino in ferro zincato, opportunamente distribuita e sagomata, che garantisce la rigidità e permette l'agganciamento alla struttura



muraria. Tali elementi possono essere realizzati in maniera semplice ed economica nella forma e dimensione richiesta dal progettista, garantendo facilità e rapidità di montaggio, ed inoltre gli elementi costituiscono condotte esteticamente perfette che non richiedono alcun mascheramento. Sempre per esigenze estetiche è possibile assegnare esternamente una sezione costante e far variare per necessità funzionali la sezione interna. Viene inoltre completamente eliminata la trasmissione di rumore dovuta ai ventilatori e fortemente ridotta la trasmissione della rumorosità attraverso l'aria, soprattutto nei canali a doppia sezione con interposizione di un materassino di materiale fono-assorbente. Il fattore di assorbimento acustico per queste condotte, alle frequenze interessate, si aggira sul valore di 0,7.

- Stampi in gesso:

Si usano per pezzi di alta precisione dimensionale come valvole, ingranaggi e pezzi molto piccoli come ornamenti fino ad 1 gr. Si usano anime in Al, Zn, ottone o resine termoindurenti (no legno), ricoperte con gesso e acqua (più aggiunte di stabilizzanti come silice). Una volta che il gesso ha solidificato, si rimuove l'anima e si disidrata. I pezzi dello stampo vengono assemblati e scaldati a 120°C per 16 ore. Questi stampi hanno bassa permeabilità ai gas e si usano con colate in pressione o sotto vuoto. Si aumenta la permeabilità con processi in autoclave o gesso con schiume. Gli stampi in gesso si usano fino a 1200°C, cioè leghe basso fondenti.

3.2. Calci

Sotto questa dizione sono compresi i leganti più antichi e sono classificati in due categorie a seconda di come effettuano la presa:

- *Calci aeree*, che fanno presa a contatto dell'aria reagendo con la CO₂;
- *Calci idrauliche*, che fanno presa reagendo con l'acqua.

3.2.1. Genesi e caratteristiche della calce aerea

La calce aerea è un legante che una volta mescolato con acqua, può indurire solo se esposto all'aria. Il suo processo produttivo presenta maggiori difficoltà rispetto a quello del gesso a causa della maggiore temperatura di esercizio necessaria alla calcinazione nei forni del materiale calcareo da cui deriva.

La materia prima per la fabbricazione della calce aerea è la roccia calcarea con un contenuto in carbonato di calcio CaCO₃ superiore al 95%. La qualità principale della pietra da calce è la purezza e l'elevato contenuto di carbonato di calcio; la roccia deve presentare un colore bianco brillante, omogeneo, senza venature terrose o patine di alterazione, mentre la struttura può essere microcristallina oppure saccaroide, ma sempre a grana fine e serrata.

Le impurità che si possono riscontrare derivano dalla presenza di carbonato di magnesio e di frazioni silicee o argillose associate al calcare; queste determinano una diminuzione delle qualità tecniche del legante e quindi non devono superare di regola il 10% del volume totale. Se le impurità ferruginose conferiscono alla calce una tinta giallastra o rosata, un certo tenore di minerali argillosi produce una limitata idraulicità con colorazioni grigiastre fino a sfumature azzurre o nocciola ed anche toni del verde se la roccia originale è ricca di coloriti.

3.2.2. Fasi di lavorazione della calce aerea

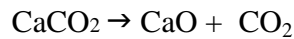
Il ciclo della calce aerea si articola in quattro momenti fondamentali, corrispondenti alla selezione del calcare, la cottura, lo spegnimento, la carbonatazione. Si tratta di una schema semplificato, perchè in realtà le trasformazioni chimico-fisiche che avvengono durante i diversi processi sono assai complesse e articolate.

Come prima operazione del ciclo produttivo tradizionale della calce, la pietra calcarea viene calcinata in forni verticali appositi, ad una temperatura oscillante tra 900° e 950°; ciò provoca la decomposizione endotermica, il carbonato di calcio (calcare,) si trasforma in ossido di calcio (*calce viva*, CaO) e si libera anidride carbonica (CO₂), perdendo circa metà del suo peso



Fig.30. Forno verticale

pari al 44%:

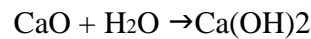


Completata la cottura, l'ossido di calcio estratto dal forno viene fatto reagire con acqua operando il processo di *spegnimento* utilizzando piani inclinati sui quali la calce viva in pezzi di piccole dimensioni o zolle viene continuamente irrorata con acqua in adeguate proporzioni. Dalla reazione ottenuta unendo

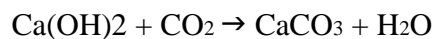


Fig.31. Fase di spegnimento calce viva

acqua e ossido di calcio si ottiene idrossido di calcio (grassello di calce) e calore (180 - 200 C°). Durante lo spegnimento le zolle di calce viva si ammorbidiscono e si spappolano con l'acqua, che in parte si trasforma in vapore, ottenendo una pasta di idrossido, chiamata grassello, che fatta scivolare nella fossa o vasca sottostante chiamata *calcinaia* viene messa a riposare per un periodo di tempo variabile da alcuni mesi ad alcuni anni. La semplice trasformazione è molto lenta e ha bisogno di tempi lunghi perchè la calce acquisisca le idonee caratteristiche leganti.



Durante questo periodo, le dimensioni dei cristalli di idrossido di calcio si riducono e si dispongono in modo geometrico e ordinato, acquisendo migliori caratteristiche leganti. Dopo un adeguato periodo di stagionatura il grassello di calce è pronto per essere utilizzato. La calce che costituirà parte di una miscela di un intonaco, una volta a contatto con l'aria, indurisce: l'idrossido (Ca(OH)₂) quindi con l'essiccamento, combinandosi con l'anidride carbonica (CO₂) presente nell'aria, si trasforma nuovamente in carbonato di calcio (CaO₃). Questo viene definito processo di *carbonatazione* ed è il responsabile dell'indurimento degli impasti a base di calce aerea.



La reazione è facilitata se lo spessore di applicazione degli intonaci a base calce non è eccessivo. La calce idrata invece si ottiene mediante una spegnimento dell'ossido di calcio con una quantità di acqua perfettamente dosata (spegnimento secco) e mediante essiccazione e polverizzazione del materiale. La calce idrata, commercializzata anche con il nome di calcidro, una volta reidratata con acqua può essere

usata come legante aereo, ma ha una forza legante molto più debole del grassello perchè che non ha beneficiato degli straordinari effetti che il tempo produce in ordine alla struttura chimico-fisica del materiale, durante quello che viene chiamato periodo di invecchiamento o maturazione.

Durante lo spegnimento delle zolle di calce si ottiene un prodotto chiamato con diversi nomi, calcina o calce spenta, fusa, estinta, colata, smorzata, stemperata o morta, sotto forma di pasta morbida e vellutata di colore bianco e giallastro. La reazione di estinzione avviene per assunzione di una maggiore o minore quantità d'acqua, secondo la qualità della calce e ciò provoca un aumento di volume della calce spenta fino a tre volte quello originario delle zolle. Questa caratteristica dipende dalla quantità di sostanze estranee al carbonato di calce che sono presenti nella pietra di calce; le impurità sono composte generalmente da carbonato di magnesio, da silice e da altri minerali, la cui presenza in maggiore o minore quantità condiziona il rendimento del grassello, cioè il rapporto tra il volume di questo e il peso della calce viva di partenza.

La suddivisione in calci aeree grasse e magre tiene conto di questo rendimento in grassello.

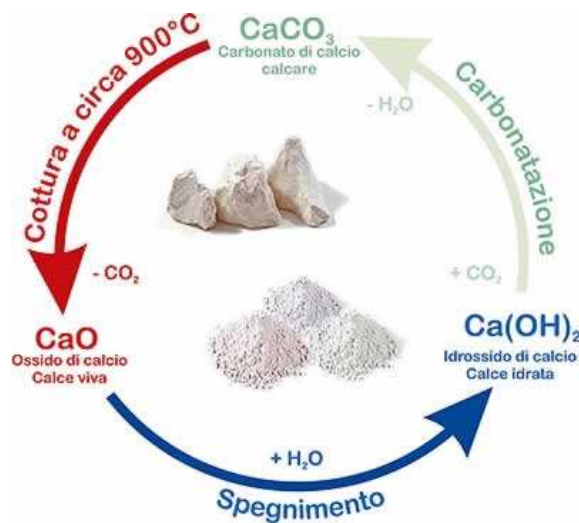


Fig.32. Ciclo della calce aerea

Principali calci aeree::

- Calce grassa o calce dolce: prodotta dalla calcinazione di rocce calcaree cotte al giusto grado di temperatura; durante lo spegnimento reagisce rapidamente con l'acqua sviluppando un forte calore e aumentando di volume, a differenza della calce viva troppo cotta che, all'idratazione, rimane per lungo tempo inattiva. La pasta non si raggruma e presenta una adesività tale da attaccarsi al ferro con cui viene mescolata. Il termine è applicabile a questo legante solo quando il contenuto in idrato di calcio è superiore al 94% con una resa di almeno 2.5 mc di grassello per ogni tonnellata di

calce viva. Quando viene immersa in abbondante acqua la pasta si sfarina e si scioglie dando un liquido lattiginoso chiamato *latte di calce*;

- *Calce magra*: viene ottenuta dalla calcinazione di rocce calcaree che contengono un consistente tenore di impurità come le dolomie, calcari silicei, calcari argillosi, ecc.. Può derivare anche dalla cottura imperfetta della roccia d'origine, dovuta sia alla bassa temperatura d'esercizio che alla presenza di una struttura molto compatta e a grandi cristalli di carbonato di calcio; ambedue le condizioni producono una calce che si idrata in modo incompleto per l'alto tenore di granuli incotti. La percentuale di ossidi utili non deve essere inferiore all'80%, altrimenti si avrebbe un prodotto con scarse qualità leganti; a causa delle impurità le zolle trattate con acqua si riscaldano lentamente, (calce pigra) e aumentano di volume solo in modo limitato, circa il doppio. La pasta che si ottiene è poco adesiva, ruvida e granulosa, con un rendimento di grassello compreso tra 2.5 e 1.8 mc per tonnellata di calce viva;
- *Calce forte*: è un legante con deboli doti idrauliche e a volte viene compresa tra le calci magre quando la presenza di idrauliti è considerata come impurità; si ricava dalla decomposizione di calcari con tenori inferiori a 10% di argilla e fu impiegata prima della diffusione dei leganti eminentemente idraulici per confezionare malte idonee alle costruzioni in ambiente umido;
- *Calce idrata in polvere*: viene distinta in due tipi: il fior di calce e la calce idrata da costruzione; il primo ha almeno il 91% di idrati di calcio e una granulometria fine ottenuta per ventilazione, mentre la calce da costruzione è un prodotto a grana grossa, con un contenuto in idrato pari almeno all'82% in peso.

3.2.3. Genesi e caratteristiche della calce idraulica

La calce idraulica è il prodotto della cottura di calcari con presenza di argilla e silicio comprese tra il 10 ed il 20% del peso; questo rapporto viene definito indice di idraulicità. La denominazione di idraulica è relativa alla caratteristica di far presa nell'acqua, contrariamente alla calce aerea; si differenzia inoltre per la proprietà di non aumentare il volume a contatto con l'acqua e di non sviluppare calore con l'estinzione. La calce di buona qualità si riconosce per la sua leggerezza e per la tipica effervescenza a contatto con l'acqua. Quando le polveri sono pesanti, compatte ed alcune parti sono inattive sebbene immerse, vuol dire che la cottura è eccessiva. La calce va conservata in un luogo riparato, privo di umidità e sollevata da terra; se per un certo periodo di tempo non viene utilizzata è preferibile conservarla in contenitori chiusi ermeticamente.

Le caratteristiche della calce idraulica dipendono dal quantitativo di minerali argillosi presenti nella roccia naturale o nelle miscele artificiali impiegate per la preparazione della calce idraulica: ad un forte tenore di argilla corrisponde un alto grado di idraulicità. Questa proprietà viene misurata per mezzo di un indice determinato dal rapporto tra la somma delle percentuali della silice, dell'allumina e degli ossidi di ferro (componenti acidi) e la somma delle percentuali dell'ossido di calcio, del magnesio, del sodio e del potassio (componenti basici).

L'indice Vicat rappresenta la capacità delle malte a base di calce idraulica di fare presa e indurire in un tempo minore o maggiore e di conservare le proprie qualità di resistenza anche in ambiente molto umido o sommerso; sulla base dell'indice di idraulicità ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{CaO} = 0.10 \div 0.65$) è possibile distinguere cinque categorie:

- Calci debolmente idrauliche con indice tra $0.10 \div 0.15$;
- Calci mediamente idrauliche con indice tra $0.16 \div 0.31$;
- Calci idrauliche con indice tra $0.31 \div 0.42$;
- Calci eminentemente idrauliche con indice tra $0.42 \div 0.50$;
- Calci limiti con indice tra $0.50 \div 0.65$.

Ad un aumento dell'indice di idraulicità corrisponde una diminuzione della durata dei tempi di presa e di quelli necessari all'indurimento; infatti in una calce debolmente idraulica prevalgono i processi di carbonatazione dell'idrato di calcio e i tempi di presa oscillano intorno alle due settimane, mentre l'indurimento avviene dopo un mese. Nelle calci eminentemente idrauliche prevale la reazione di idratazione dei composti di calcio con la silice, l'allumina e il ferro (idrauliti) e la presa e l'indurimento si compiono in tempi medi inferiori a quattro giorni.

3.2.4. Fasi di lavorazione della calce idraulica

Le fasi della lavorazione della calce idraulica sono:

- 1- *Estrazione*
- 2- *Cottura*
- 3- *Setacciatura*

1- Estrazione:

La roccia si presenta per lo più in strati di colore grigio chiaro o bruno; i liotipi adatti alla produzione di



Fig.33. Estrazione roccia

calce idraulica sono facilmente reperibili e diffusi sui rilievi collinari o montani delle regioni calcaree. Il materiale è quasi sempre di consistenza friabile o con un fitto reticolo di fratture e la sua estrazione viene condotta in cave allo scoperto con i metodi usuali, già descritti per la pietra.

Quando il giacimento è composto da rocce di una certa uniformità, nella pratica tradizionale si procede lungo il fronte di cava causando dei franamenti allo scopo di mescolare i frammenti e ricavare un prodotto più omogeneo. Lo stesso risultato si ottiene con l'ausilio di esplosivi o utilizzando mezzi meccanici pesanti. I frammenti vengono ulteriormente disgregati con attrezzi manuali o tramite frantoi meccanici e, se necessario, la roccia estratta subisce in cava una prima cernita, per mantenere costante la qualità della miscela tra calcare e argilla.

Anche in un medesimo giacimento la roccia può presentare delle variazioni di composizione sia all'interno di uno stesso banco che tra differenti strati; per garantire un prodotto di qualità costante nel tempo si deve ricorrere a miscele di calcare e di argilla estratte in cave diverse, la cui ubicazione viene scelta tanto in funzione della purezza dei materiali quanto per la rispettiva vicinanza.

2- Cottura:

I forni adoperati per la produzione di calce idraulica sono simili a quelli impiegati nella produzione



Fig.34. Forno di cottura

della calce aerea, ma la temperatura oscilla tra 900° e 1000° raggiungendo in alcuni casi i 1200°; la qualità di calore insieme al tempo di cottura varia in funzione del tenore in minerali argillosi presenti nella roccia o nella miscela artificiale. La *calcina*zione avviene elevando lentamente la temperatura per distribuire il calore nella

fornace, eliminare per gradi l'acqua igroscopica ed evitare la formazione , all'esterno dei frammenti, di parti vetrificate, che impediscono la combinazione dei componenti e la formazione della calce viva.

A cottura avvenuta le zolle calcinate si presentano di colore variabile dal grigio al giallastro e contengono una miscela di silicati, di alluminati e di ferriti di calcio a struttura complessa, insieme a una frazione consistente di calce viva libera, derivata dalla decomposizione del calcare in eccesso.

L'operazione di *spegnimento* va condotta con molte cautele, dopo una prima e sommaria vagliatura per eliminare le parti non cotte o polverulente: la fase di trasformazione da calce viva in idrata risulta indispensabile affinché il processo non avvenga in opera con il rigonfiamento e frantumazione della malta dopo la presa, ma nel medesimo tempo occorre evitare che un eccesso d'acqua provochi l'idratazione dei silicati e degli alluminati causando in modo prematuro la presa e l'indurimento del legante. Le calci debolmente e mediamente idrauliche commercializzate in zolle vengono estinte in bagnoli simili a quelli della calce aerea; l'idratazione avviene lentamente senza grande produzione di calore e il prodotto finale è simile al grassello, anche se di consistenza meno untuosa e con minori proprietà adesive iniziali. Lo spegnimento delle calci eminentemente idrauliche è invece più complesso e viene condotto nello stabilimento di produzione usando il metodo dell'aspersione: le zolle vengono disposte in uno strato di altezza limitata su cui si spruzza il quantitativo minore di acqua (non superiore al 10-20% in volume) per provocare la sfioritura della massa e ridurla progressivamente in polvere. Dopo la bagnatura la calce idraulica viene ammucchiata, così che l'acqua possa agire su tutta la massa in modo uniforme.

I tempi di spegnimento variano in funzione del quantitativo di minerali argillosi e della temperatura di calcinazione; una calce eminentemente idraulica in questo processo impiega da 15 a 20 giorni, nonostante il minor contenuto di calce viva libera che è però presente con una struttura cristallina maggiormente stabile e poco reattiva a causa della temperatura di cottura più elevata; al contrario le calci idrauliche o debolmente idrauliche si estinguono rapidamente per il maggior quantitativo di calce viva libera dotata di una struttura più reattiva all'idratazione.

3- Setacciatura:

Dopo lo spegnimento la calce idraulica oramai ridotta a polvere passa attraverso diverse fasi di setacciatura. Il primo prodotto ottenuto viene denominato *calce idraulica leggera* o fior di calce ed è composto da una polvere finissima ad elevata superficie specifica; le parti grossolane, trattenute dai vagli, subiscono un ulteriore spegnimento, di durata maggiore rispetto alla precedente.

La *calce idraulica pesante* si ricava dalla setacciatura finale che lascia dei residui in forma di granuli duri, resistenti all'estinzione, di colore grigio-verdastro; questi sono il prodotto della parziale fusione dei silicati e degli alluminati di calcio e vengono chiamati grappiers. Una volta ridotti in polvere fine con appositi mulini, possono essere mescolati alla calce setacciata per aumentare il grado di idraulicità. Per ottenere il cemento Portland la calce idraulica viene ottenuta miscelando al cemento una certa percentuale di sostanze inerti macinate finemente, i filler, oppure per produrre un legante più plastico si ricorre alla miscela tra la calce idrata in polvere ed il Portland: un prodotto di analoghe proprietà a cui vengono associati degli additivi aeranti che nell'impasto con l'acqua sviluppano gas e consentono di aumentare il volume della malta fino al 15%.

3.2.5. Utilizzo della calce nell'architettura

- Preistoria e mondo antico:

Il primo materiale usato nelle costruzioni di cui si ha testimonianza è l'argilla. Il suo utilizzo, risale alla Preistoria: l'uomo preistorico aveva empiricamente appreso che l'argilla impastata con acqua poteva fornire un materiale plastico, capace di aderire con altri materiali altrimenti sciolti e, essiccando, indurire mantenendoli legati. I primi leganti derivati da processi di calcinazione di pietre naturali, chiamati genericamente cementizi, sono il gesso e la calce aerea. La loro scoperta fu probabilmente coeva e si può immaginare che abbia la stessa origine di quella della terracotta, essendo anch'essa legata alla scoperta del fuoco. Data la maggiore facilità nell'ottenere il gesso rispetto alla calce, per via della temperatura di cottura più bassa, è probabile che questo abbia trovato inizialmente una maggiore applicazione. E infatti, il primo esempio conosciuto di utilizzo sistematico di una reazione di cementazione in campo edile è legato all'impiego di gesso si tratta del supporto degli *affreschi decorativi di Cata Huyuk* in Asia Minore, risalente al 9000 a.C. . Il più antico manufatto rinvenuto realizzato con la calce a noi conosciuto è un calcestruzzo usato in una pavimentazione rinvenuta nel 1985 a Yiftah nella Galilea meridionale (Israele), datato al 7000 a.C. Questa pavimentazione, che si presenta molto compatta e con una superficie dura e levigata, è stata realizzata con calce e pietra e collocata su un basamento uniforme di argilla sabbiosa.

Egizi, un murale, rinvenuto a Tebe e risalente al 1950 a.C. , mostra invece un primo esempio di malta e conglomerato a base di calce in Egitto. La scoperta di un legante a comportamento idraulico, atto cioè a far presa ed indurire anche in ambiente subacqueo, si fa risalire ai Fenici. Come è noto essi ebbero una civiltà molto avanzata ed agli stessi si attribuiscono varie invenzioni come la fusione dei metalli, il

primo alfabeto ecc. Ai fenici si attribuisce la preparazione di malte confezionate con calce aerea e sabbia vulcanica delle Cicladi. Cisterne per acqua, intonacate con malte idrauliche, sono state rinvenute a Gerusalemme e si fanno risalire al regno di Salomone (X Sec. a.C.) e alla mano di operai fenici.

Greci, usarono ampiamente leganti a base di calce; la conoscenza della tecnologia di produzione e del loro impiego pervenne loro dalla Civiltà cretese-minoica e successivamente passò agli Etruschi e ai Romani. Alcune opere greche del tempo di Erodoto (circa 450-500 a.C.), come l'acquedotto di Argos in conglomerato di marmo e calce, dimostrano come tale legante fosse allora abbastanza comune.

Romani, a Roma, l'impiego di un conglomerato calce-pietre trova prima documentazione nel 300 a.C. con le opere di Appio Claudio Cieco: l'acquedotto Appio e la Via Appia. I Romani migliorarono notevolmente la tecnologia di produzione della calce aerea, cocendo calcari di buona qualità e spegnendo accuratamente la calce viva risultante che, successivamente, veniva mescolata con sabbia pulita. Essi conoscevano solo la calce aerea, cioè quella capace di fare presa a contatto con l'aria, mentre era sconosciuta la calce idraulica, in grado di fare presa anche sott'acqua. I Romani erano tuttavia in grado di ottenere



Fig.35. Acquedotto Appio

malte idrauliche aggiungendo all'impasto la pozzolana. Come i Greci e i Fenici prima di loro, anch'essi non ignoravano che alcuni depositi vulcanici, quando venivano macinati e mescolati con sabbia e calce aerea, forniscono una malta che presenta non solo caratteristiche di resistenza meccanica superiori a quelle ottenibili con la sola calce, ma anche la proprietà di resistere all'azione sia dell'acqua dolce sia di quella marina. Per formulare le malte idrauliche i Romani impiegarono principalmente tufi vulcanici rossi o purpurei, rinvenuti in vari punti della zona della baia di Napoli. Poiché la migliore di queste terre proveniva dalle vicinanze di Pozzuoli, il materiale prese il nome di 'pozzolana' (dal latino pulvis puteolana). I Romani sfruttarono anche depositi di pozzolana naturale già noti ai Greci, sull'isola di Santorini, oppure la terra vulcanica, di colore scuro, dell'isola di Thera, e, più tardi, i depositi di trass renano, un tufo vulcanico della Germania meridionale. Ne deriva che il principale legante del periodo Romano è stato di fatto il 'calcestuzzo' una malta ottenuta con grassello di calce, sabbie, cocciopesto, sabbie pozzolaniche, cocci di mattone cotto, nelle sue diverse varianti. Oggi ben conosciamo le ragioni di tale scelta: la straordinaria capacità di aderenza che si determina all'interfaccia tra il materiale

pozzolanico, naturale e artificiale, e la calce. Dunque, in caso d'indisponibilità di terra vulcanica, i Romani usavano tegole, mattoni o terraglie cotte, frantumate o macinate, dagli effetti similmente idraulici. Questa pratica probabilmente precede nel tempo l'uso di materiali vulcanici: vi sono prove che attestano nella Civiltà minoica di Creta (circa 1700 a.C.) l'uso di aggiungere residui di recipienti frantumati alle malte di calce per migliorarne la resistenza meccanica, l'impermeabilità e la durabilità. La divulgazione della tecnologia dei Romani fu agevolata dalla pubblicazione attorno al 13 a.C. del '*De architectura*', opera dell'architetto e ingegnere Marco Vitruvio Pollione. Tale opera costituisce una fonte di informazioni estremamente dettagliata per quel che riguarda modalità di costruzione romane, ed è considerata de facto il primo esempio al mondo di normativa industriale. Nel capitolo V, Vitruvio discorre sulla calce (calx) dando testimonianza di una conoscenza necessariamente empirica, ma certamente valida. Le conoscenze dei Romani sulla preparazione delle malte si estesero fin nelle Regioni più lontane dell'Impero, come dimostra la qualità delle murature scoperte in Inghilterra, che è uguale a quella di analoghe strutture trovate a Roma.

- Medioevo:

Con la caduta dell'Impero si perdono molte delle capacità produttive fino allora acquisite, ma la produzione e l'utilizzo della calce sono ancora attestate sia da prove archeologiche sia da fonti scritte. Durante il Medio Evo molte delle avvertenze costruttive dei forni prima descritte vennero trascurate e si ritornò quasi ovunque alla fornace di campagna di tipo verticale, priva di rivestimento in mattoni, che genera molto 'incotto', ossia pietra non calcinata, affondata nel suolo in zone adatte a utilizzare due livelli di carico, quello della pietra sopra e quello della legna e di scarico della calce sotto, oppure ancora alla fornace inclinata. In generale comunque si assiste ad un graduale declino del livello qualitativo delle malte di calce usate in campo edile, che perdurò per tutto il Medioevo. Nella formulazione delle malte furono sempre più impiegate sabbie sporche e inquinate da argilla, si abbandonò l'uso della pozzolana vulcanica e del cocchiopesto e, infine, si trascurò la tecnica di costipare adeguatamente le malte e i calcestruzzi confezionati con poca acqua. La conseguenza della rudimentalità di molte di queste fornaci fu un generale decadimento della qualità della calce. Solo più tardi, nel XIV secolo, con l'adozione di fornaci ancora intermittenti ma in muratura e a legna, e nel XVIII secolo, a griglia con carbone, si poté ritornare ai successi qualitativi dell'epoca romana. In Inghilterra, il declino caratterizza il periodo dei Sassoni e dei Normanni (circa 450-1150 d.C.) come chiaramente è dimostrato dalle costruzioni di quell'epoca, spesso caratterizzate dalla presenza di malte di erronea composizione e non di rado prodotte con calci mal cotte. In un'opera di Eugène Emmanul

Viollet-le-Duc, avente per tema l'esame degli edifici costruiti in Francia, l'Autore giunge alla conclusione che nel corso dei IX, X e XI secolo, si era quasi completamente persa l'arte di cuocere la calce, in quanto nella messa in opera veniva normalmente impiegata calce contenente grumi mal cotti, senza l'aggiunta di terracotta macinata. Dal XII secolo, la qualità della calce, cotta in modo migliore e ben setacciata, riprese a progredire. Dopo il XIV secolo la situazione migliorò ulteriormente, infatti sono state rinvenute malte eccellenti in cui, all'atto del loro confezionamento, si era presa la precauzione di lavare la sabbia, privandola dei contenuti di terra e argilla. Il fenomeno si può assegnare anche al risveglio umanistico, che portò a tradurre e a leggere opere latine, tra le quali quelle di Vitruvio e Plinio, testi questi che permisero di condurre più correttamente anche la fabbricazione e l'impiego della calce. Ulteriori miglioramenti si ebbero nei secoli seguenti, e specialmente nel XVII e XVIII, in relazione alle diverse novità introdotte nella tecnologia di fabbricazione della calce, con la sostituzione della legna con il carbone per la cottura e la scoperta di nuove fonti di materiali a comportamento pozzolanico per la confezione delle malte idrauliche. In ogni caso nel corso di questi secoli il livello qualitativo generale si mantenne molto variabile e gli standard raggiunti ai tempi dei Romani non vennero, normalmente, più conseguiti.

- Ottocento:

I metodi dei Romani furono ripresi e fatti rivivere in Francia al tempo dei grandi lavori idraulici eseguiti nella Reggia di Versailles nel XVIII secolo, in particolare da Lorient, De la Faye, Faujas de Saint-Fond e, soprattutto, da Rondelet. Jean Rondelet pubblicò nel 1805 il più autorevole lavoro su questo argomento, il Trattato dell'Arte di Edificare. Egli esaminò attentamente le costruzioni del tempo dei Romani e intraprese numerosi esperimenti per concludere che l'eccellenza delle loro malte da costruzione non dipendeva da qualche segreto nello spegnimento o nella composizione della calce (riferendosi ancora alla calce aerea), ma dall'estrema cura usata nella miscelazione dell'impasto e nel suo costipamento. Nello stesso periodo in Gran Bretagna, paese con ampio sviluppo di coste, si comincia ad avvertire l'esigenza di produrre leganti idonei a realizzare costruzioni anche in ambiente marino. Nel 1750 John Smeaton riceve l'incarico di ricostruire il faro di Eddystone, davanti a Plymouth e realizza con originalità la struttura, facendo uso di moduli lapidei incastrati a coda di rondine impiegando come malta di allettamento calce e trass olandese. Smeaton scoprì, fortuitamente, che la cottura del calcare contenente impurità argillose produceva un tipo di calce (calce idraulica) con caratteristiche analoghe a quelle della miscela calce-pozzolana, con il vantaggio, tuttavia, di non dover usare la pozzolana non disponibile ovunque. Una volta capito che il meccanismo di reazione della calce

idraulica era legato alla presenza di impurità argillose, cominciarono le sperimentazioni nella cottura di miscele artificiali di calcare ed argilla. Nel 1796 James Parker brevettò uno speciale tipo di cemento naturale idraulico, detto cemento romano, ottenuto per calcinazione di noduli di calcare contaminati da argilla (septaria). Lo stesso processo fu usato in Francia nel 1802. Nel 1812, il francese Luis Vicat preparò una calce idraulica artificiale calcinando miscele artificiali di calcare e creta. Vicat fa la prima distinzione fra la calce idraulica naturale e artificiale: la prima ottenibile per cottura di calcari argillosi, la seconda di miscele di calcare e argilla. Vicat fa anche la prima distinzione tra calce idraulica e cemento: qualunque prodotto messo in opera previo spegnimento deve denominarsi calce idraulica, se senza spegnimento cemento. Nel 1822 James Frost completò la "ricetta" con del materiale calcareo frantumato. Bisogna aspettare il 1824 perché un muratore inglese, Joseph Aspdin, arrivasse a perfezionare il processi di selezione dei calcari e fino a raggiungere quel livello di qualità e di resistenza tramandato fino ai giorni nostri. E' da ascrivere alla creatività di Aspdin la scoperta del Cemento Portland, così chiamato perché la massa ottenuta assomigliava alla roccia dell'isola di Portland. Aspdin mescolò, studiandone attentamente le proporzioni, calcare e argilla che, cotti in un forno simile a quello usato per la calce, fornirono un legante (in realtà ancora una calce idraulica) con caratteristiche superiori agli altri fino ad allora sperimentati. L'impulso decisivo allo sviluppo dei leganti idraulici è stato innescato dall'intuizione di Isaac Charles Johnson che nel 1845 riuscì a produrre un legante dalle caratteristiche paragonabili all'odierno cemento Portland, portando la materia prima fino ad incipiente vetrificazione. Veniva utilizzato a tal fine un particolare forno a fuoco intermittente (chiamato forno Johnson) per compiere il salto di qualità dagli 850-900°C, sufficienti per ottenere la calce idraulica (alla quale era assimilabile il "cemento" chiamato Portland da Aspdin), ai circa 1450-1500°C necessari per produrre il vero clinker di cemento.

- Novecento:

In Italia, fu solo negli anni Ottanta del XIX secolo che si andò consolidando, con un ritardo di oltre quarant'anni rispetto agli altri Paesi europei più avanzati, la conoscenza tecnologica approfondita per produrre calce idrauliche. I primi forni per produrre tali leganti erano impianti verticali conformati a bottiglia o a tronco di cono (come il primo stabilimento eretto da Aspdin nel Kent), con temperature di cottura dell'ordine di 850-900°C e con notevoli dispersioni termiche. Progressivamente è stata introdotta una serie di innovazioni tecnologiche, consistenti nell'impiego di combustibile ad alto potere calorifico (carbone e poi derivati del petrolio) in sostituzione della tradizionale risorsa costituita dal legname e nell'adeguamento dell'involucro del forno alle maggiori temperature di combustione con il

raddoppio delle pareti, che ha portato anche nel nostro paese al passaggio di produzione da calce idrauliche e cementi. Il cemento si attesta come l'unico e incontrastato legante da costruzione per buona parte del Novecento. La crisi petrolifera degli anni '70 sottolinea, forse per la prima volta, la fragilità del Portland, perlomeno dal punto di energetico, per via dell'enorme quantità di risorse necessarie alla sua produzione. Poi dal 2000, parole come 'Sostenibilità ambientale' 'Architettura Ecologica,' e 'Conservazione del Patrimonio Culturale' diventano temi centrali delle agende economiche e politiche dei paesi più sviluppati: la calce si ripresenta come una delle possibili soluzioni a questi problemi.

- La calce oggi:

In virtù della minore richiesta di energia in produzione, della salubrità impartita agli edifici e della completa compatibilità con il costruito storico, si propone a noi, oggi, come il legante da costruzione del terzo millennio.

3.2.6. Normativa di riferimento

Nel 2001, la Commissione dell'Unione Europea ha pubblicato una serie di norme in materia di "Calce da costruzione", elaborate dal CEN/TC 51. Queste norme sono state recepite in ambito nazionale, attraverso l'UNI, e sono divise in tre parti:

UNI EN 459-1:2002 Calce da costruzione.

Definizioni, specifiche e criteri di conformità. La norma è la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 459-1 (edizione ottobre 2001) e tiene conto dell'errata corrige di luglio 2002 (AC:2002). Fornisce una definizione generale dei diversi tipi di calce da costruzione e della loro classificazione. Fornisce, inoltre, i requisiti relativi alle loro proprietà chimiche e fisiche che dipendono dal tipo di calce da costruzione e specifica i criteri di conformità.

UNI EN 459-2:2002 Calce da costruzione.

Metodi di prova. La norma descrive i metodi di prova per tutte le calce da costruzione trattate nella UNI EN 459-1:2001. La norma, descrive i metodi di prova di riferimento e, in alcuni casi, i metodi di prova alternativi.

UNI EN 459-3:2002 Calce da costruzione.

Valutazione della conformità La norma specifica lo schema per la valutazione della conformità delle calce da costruzione rispetto alla corrispondente norma di prodotto UNI EN 459-1, inclusa la dichiarazione di conformità da parte del produttore.

La norma fornisce le regole tecniche per il controllo produzione di fabbrica da parte del produttore, incluse le prove di autocontrollo sui campioni.

Le norme appena citate si applicano alle calce da costruzione utilizzate come legante per la preparazione della malta in muratura, rivestimenti interni ed esterni, così come la fabbricazione di altri prodotti per l'edilizia. In caso di applicazioni speciali (ad esempio, ingegneria civile) sono necessari requisiti aggiuntivi.

La norma UNI EN 459-1:2001 classifica le calce idrauliche in tre categorie:

- Calce Idrauliche Naturali (NHL): derivate esclusivamente da marne naturali o da calcari silicei, senza l'aggiunta di altro se non l'acqua per lo spegnimento;
- Calce idrauliche naturali con materiali aggiunti (NHL-Z): calce come sopra, cui vengono aggiunti sino al 20% in massa di materiali idraulicizzanti o pozzolane;
- Calce Idrauliche (HL): calce costituite prevalentemente da idrossido di Ca, silicati e alluminati di Ca, prodotti mediante miscelazione di materiali appropriati.

Secondo questa classificazione, il solo materiale che, a pieno titolo, può essere definito e impiegato come tale è quello siglato NHL. Il numero che accompagna la sigla (NHL 2, NHL 3.5 e NHL 5) indica la resistenza meccanica della calce, riferita come minima resistenza alla compressione di un provino di malta dopo 28 gg. di stagionatura, espressa in MegaPascal (Mpa). La classificazione delle resistenze vale anche per le altre due categorie di calce idrauliche, la NHL-Z e la HL, create ovviamente per lasciare spazio a tutti quei prodotti che sino ad ieri hanno occupato il campo della calce idraulica naturale propriamente detta.

Decreti Legge e Decreti Ministeriali

Indipendentemente dalla normativa europea, per le calce da costruzione, in Italia sono in vigore le seguenti leggi:

- R.D. del 16 novembre 1939, n. 2231: Norme per l'accettazione delle calce.

- Legge 26 maggio 1965, n. 595: Caratteristiche tecniche e requisiti dei leganti idraulici.
- Decreto Ministeriale 31 agosto 1972: Norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova degli agglomeranti cementizi e delle calce idrauliche.

Decreti Legge e Decreti Ministeriali

Indipendentemente dalla normativa europea, per le calce da costruzione, in Italia sono in vigore le seguenti leggi:

- R.D. del 16 novembre 1939, n. 2231: Norme per l'accettazione delle calce.
- Legge 26 maggio 1965, n. 595: Caratteristiche tecniche e requisiti dei leganti idraulici.
- Decreto Ministeriale 31 agosto 1972: Norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova degli agglomeranti cementizi e delle calce idrauliche.

3.3. Cemento

Viene definito cemento quel legante in grado di far presa e indurire sia all'aria che sott'acqua; viene ricavato sottoponendo ad elevata temperatura una miscela naturale o artificiale composta da calcare e argilla. Il rapporto tra i componenti acidi, silice, allumina ossidi di ferro e quelli basici, ossido di calcio, di magnesio, di sodio e di potassio, consente la combinazione completa tra gli elementi con formazione di silicati, alluminati e ferriti di calcio a struttura complessa e assenza di calce viva libera; ciò è possibile quando l'indice di idraulicità della miscela è maggiore o almeno uguale a 0.5.

3.3.1. Genesi e classificazione del cemento

La pietra del cemento è un calcare marnoso simile a quello con cui viene prodotta la calce idraulica. La roccia è formata da un miscuglio naturale di carbonato di calcio e argilla, ma può presentare forti variazioni tra le proporzioni dei componenti non solo da luogo a luogo ma anche lungo gli strati di uno stesso giacimento; in questo caso è preferibile ricorrere alle miscele artificiali o alla correzione della roccia naturale con opportune aggiunte di silice, d'allumina o di ossido di ferro.

Nella produzione del cemento vengono utilizzate rocce marnose oppure i noduli calcarei inclusi in formazioni argillose accuratamente dosati e adoperati come correttivi per assicurare al prodotto caratteristiche tecniche costanti o per fornire, variando il dosaggio, tipi diversi di leganti.

Per la produzione di cementi artificiali viene impiegato calcare particolarmente puro, che presenta una percentuale di carbonato di magnesio inferiore a 5% e che risulta esente da cristalli di pirite, di quarzo o da noduli di selce.

L'argilla può avere composizione variabile anche se è preferibile quella con un tenore di silice intorno al 60-70%; particolarmente importante è l'assenza di solfuri, pirite e marcassite, di solfato di calcio, di sostanze organiche e di noduli eterogenei.

Le cave sono ubicate di solito sui fianchi dei rilievi o nei fondi vallivi.

Principali cementi da costruzione:

- Cemento a rapida presa o romano: Si presenta in polvere fine e soffice, di colore giallo-verdognolo e deriva dalla cottura dei calcari fortemente argillosi. Il suo indice di idraulicità è compreso tra 0.6 e 0.8 e dopo l'idratazione la malta fa presa in pochi minuti, da 5 a 20, sia se esposta all'aria che sott'acqua e indurisce nel tempo senza però raggiungere elevate prestazioni;
- Cemento Portland: è in polvere fine e pesante con un aspetto meno soffice del cemento romano; il colore varia dal grigio bruno al verdognolo, tendente al rossastro quando proviene da miscele

artificiali. Se setacciato lascia un residuo di aspetto vetroso e colore scuro. Ne esistono cinque tipi principali e l'indice di idraulicità varia tra 0.45 e 0.55; i diversi tipi sono ottenuti con dosaggi diversi dei componenti, con una scorificazione più o meno spinta del clinker e con macinazione condotta per diversi gradi di finezza. Gli impasti con acqua fanno presa dopo 1 o 2 ore secondo i tipi e la completano entro 6-12 ore; dopo un mese assume durezza lapidea e una elevata resistenza, lasciando delle masse impermeabili con superficie liscia e lucida. Alla denominazione di cemento a lenta presa a volte corrisponde anche un prodotto molto diverso, per durezza e resistenza dal Portland, composto da una polvere grossa e ruvida, poco scorificata e di colore giallo bruno tendente al rossiccio. Le malte composte con questo tipo di cemento non presentano colore omogeneo bensì striature rossastre e induriscono con lentezza dopo una presa irregolare della durata di diverse ore;

- Cemento Pozzolatico: In questo cemento artificiale viene utilizzata la possibilità di miscelazione di clinker di cemento Portland con pozzolana, roccia piroclastica con elevate caratteristiche di idraulicità in modo da conferire al prodotto che deriva dalla macinazione della miscela (con la piccola quantità di gesso e anidride per regolarizzare l'idratazione) una particolare resistenza alle azioni delle acque salmastre. La miscelazione del clinker proveniente dalla cottura di marne e la pozzolana cruda proveniente dalle cave in zone vulcaniche, avviene prima di immettere la miscela nei mulini, secondo le dosi predisposte. Talvolta si usano anche altri materiali come le argille plastiche torrefatte (del gruppo della caolinite che a temperature superiori ai 600° perdono l'acqua di combinazione);
- Cemento alluminoso: Viene usato per applicazioni refrattarie e resiste alle alte temperature (dai 1300 ai 1600 gradi) ed è considerato un legante di alto pregio per la sua produzione e impiego e per l'elevato costo di produzione. Questo legante risponde in maniera eccellente per alcune applicazioni quali: lavori urgenti, per il veloce indurimento dell'impasto; per impieghi dove occorre elevata resistenza meccanica, dato che i cementi fusi raggiungono resistenze molto più elevate dei cementi naturali o artificiali, in tempi molto brevi; per gettare a temperatura inferiore allo 0°, dato che il calore di idratazione durante la presa si sviluppa in un periodo molto breve (circa 10 ore) permettendo di mantenere l'impasto a temperatura più alta dell'ambiente e impedendo che l'acqua geli durante la presa.
- Cemento per sbarramento di ritenuta: caratterizzato da basso calore di idratazione e particolari caratteristiche fisico-meccaniche.

3.3.2. Fasi di lavorazione del cemento

La chimica fondamentale del processo di produzione del cemento è basata sulla decomposizione del carbonato di calcio (CaCO_3) a circa 900°C per formare ossido di calcio (CaO , calce) e liberare biossido di carbonio allo stato gassoso (CO_2); questo processo prende il nome di calcinazione. La fase successiva è costituita dalla clinkerizzazione, nella quale l'ossido di calcio reagisce ad alte temperature (tipicamente $1400\text{-}1500^\circ\text{C}$) con silice, allumina e ossido ferroso per formare silicati, alluminati e ferriti di calcio che compongono il clinker. Il clinker viene quindi frantumato o macinato insieme al gesso e ad altre aggiunte per produrre il cemento.

Le materie prime vengono macinate ed essiccate, dando così origine alla farina sotto forma di polvere. La farina cruda essiccata viene alimentata al preriscaldatore o al precalcinatore o, più raramente, ad un forno lungo nel quale si realizzano le tre fasi per via secca.

Il processo ha le seguenti fasi:

- 1 - Estrazione
- 2 - Macinazione
- 3 - Cottura del clinker
- 4 - Macinazione

1- Estrazione:

I materiali estratti dalla cava, con sistemi diversi, provengono da due tipi di rocce: il primo è costituito da carbonato di calcio che si trova nelle nostre zone montuose, il secondo tipo è formato da argille o calcari marnosi con notevoli percentuali di alluminio e ferro.. Anche le ceneri prodotte dalle centrali termoelettriche, le scorie d'altoforno e altri residui di processi industriali possono essere usati, in funzione della loro idoneità dal punto di vista chimico, per sostituire, almeno in parte, le materie prime naturali.

L'estrazione di quasi tutte le materie prime naturali richiede una serie di operazioni di escavazione ed estrazione. I materiali provengono da cave a cielo aperto. Le operazioni necessarie comprendono perforazione dello strato roccioso, abbattimento con esplosivi, scavo, trasporto e frantumazione. Le materie prime principali, quali calcare, calcare marnoso, scisto o argilla, provengono da cave, che nella maggior parte dei casi sono prossime al cementificio. Dopo una prima frantumazione, le materie prime vengono trasportate al cementificio, dove vengono stoccate e sottoposte ad ulteriore lavorazione. Altre

materie prime, quali, ad esempio, bauxite, minerale di ferro, scorie d'altoforno o terre di fonderia, derivano da altri processi industriali.

2- Macinazione e preparazione:

La preparazione delle materie prime è molto importante per il sistema del forno, sia per ottenere la giusta composizione chimica della farina, sia per garantire che la stessa sia abbastanza fine.

Le materie prime, in proporzioni controllate, sono macinate e miscelate per formare una miscela omogenea avente l'opportuna composizione chimico-fisica. Per i *processi a via secca* e semisecca, i componenti delle materie prime sono macinati ed essiccati fino ad ottenere una polvere fine, recuperando principalmente i gas esausti del forno e/o i gas provenienti dal raffreddatore.

Per le materie prime che hanno un contenuto di umidità relativamente elevato e per le fasi di avvio può essere necessario disporre di un generatore di gas caldi (fornello ausiliario) per fornire ulteriore calore.

I sistemi di macinazione a via secca normalmente usati sono:

- mulino tubolare, a scarico centrale;
- mulino tubolare, a getto d'aria;
- mulino verticale a pista e rulli di forma tondeggianti;
- mulino orizzontale a pista e rulli.

La finezza e la distribuzione granulometrica del prodotto che esce dall'impianto di macinazione è molto importante per il successivo processo di cottura. I valori richiesti di questi due parametri si ottengono regolando il separatore usato per classificare il prodotto lavorato nel mulino. La classificazione a via secca si esegue per mezzo di separatori ad aria.

Il processo a via umida è normalmente preferito quando si utilizzano materie prime con un tenore di umidità superiore al 20% in peso. Materie prime quali marna o argilla, che sono coesive e ad elevata umidità intrinseca, sono friabili e in una prima fase della preparazione possono essere macinate in un mulino di lavaggio. Il materiale in pezzatura viene immesso nel mulino di lavaggio insieme ad una certa quantità d'acqua per essere ridotto a *slurry* per effetto di azioni di taglio e di urto impartite da lame rotanti. Una volta raggiunta la giusta finezza granulometrica, il materiale passa attraverso i vagli posti sulla parete del mulino e viene pompato al deposito di stoccaggio. Per ridurre lo *slurry* alla finezza desiderata, è di solito richiesta un'ulteriore macinazione in un mulino tubolare, soprattutto se è necessario aggiungere altro materiale crudo, per esempio sabbia. Al fine di ridurre il consumo di combustibile del forno, l'aggiunta dell'acqua durante la macinazione delle materie prime viene

controllata in modo da usarne la quantità minima per ottenere uno slurry con la densità e le caratteristiche di pompabilità richieste (32-40% d'acqua in peso). Lo slurry può essere diluito con aggiunta di alcuni additivi chimici, così da ridurre il contenuto d'acqua.

3- Cottura del clinker:

È la parte più importante del processo in termini di emissioni potenzialmente inquinanti, qualità e costo del prodotto. Nella cottura del clinker, la farina cruda (o lo slurry se il processo è a via umida) viene immessa nel forno rotante dove viene sottoposta a processo di essiccazione, preriscaldamento, calcinazione e sinterizzazione per produrre così il clinker. Questo viene dapprima raffreddato con aria e poi stoccato per l'uso successivo. Nel processo di cottura del clinker è importante che le temperature della carica del forno oscillino intorno a 1400-1500° C e le temperature del gas siano di circa 2000° C. Inoltre, il clinker deve essere cotto in condizioni ossidanti. Di conseguenza, è necessario che nella zona di sinterizzazione del clinker ci sia un eccesso d'aria.

Il forno rotante fece la sua comparsa nell'industria del cemento intorno alla fine del secolo XIX (1895) e da allora è diventato il fulcro di tutti i moderni impianti di produzione del clinker.

I primi forni rotanti erano lunghi e lavoravano a via umida, dove il processo termico si svolge tutto nel forno stesso. Con l'introduzione del procedimento a via secca, il processo è stato ottimizzato con l'impiego di tecnologie che consentono di eseguire le procedure di essiccazione, preriscaldamento e calcinazione in un unico impianto fisso, anziché nel forno rotante.

Il forno rotante consiste in un cilindro di acciaio con rapporto lunghezza/diametro di 10:1 e 38:1. Il cilindro ha un'inclinazione del 2,5-4,5%; un motore fa ruotare il forno intorno al proprio asse ad una velocità di 0,5-4,5 giri/min. La combinazione dell'inclinazione del cilindro e del movimento di rotazione fanno sì che il materiale si sposti lentamente lungo lo stesso. Per resistere agli altissimi picchi di temperatura che si raggiungono, tutto il forno è rivestito di mattoni resistenti al calore (refrattari).

Il combustibile introdotto attraverso il bruciatore primario genera la fiamma principale, che arriva a temperature dell'ordine di 2000° C. Per ragioni legate all'ottimizzazione del processo, la fiamma deve essere, entro certi limiti, regolabile.

Il raffreddatore del clinker è parte integrante della linea di cottura ed influisce in misura determinante sul rendimento e sull'economicità dell'impianto. Il raffreddatore ha una duplice funzione: recuperare quanto più calore possibile dal clinker caldo (1450° C) per restituirlo al processo e ridurre la temperatura del clinker ad un livello adeguato per le apparecchiature che si trovano a valle. Il calore viene recuperato preriscaldando l'aria usata per la combustione principale e secondaria, fino ad

avvicinare, quanto più possibile, il limite termodinamico. Tuttavia, a ciò si oppongono le alte temperature, l'estrema abrasività del clinker e l'ampiezza del suo fuso granulometrico. Un rapido raffreddamento fissa la composizione mineralogica del clinker per migliorarne la macinazione e ottimizzare le caratteristiche di reattività del cemento.

4- Macinazione e stoccaggio del cemento:

Data la varietà dei tipi di cemento richiesti dal mercato, i sistemi di macinazione più diffusi sono quelli dell'ultima generazione dotati di separatore dinamico ad aria.

I sistemi di macinazione del cemento più usati sono i seguenti:

- Mulini verticali: il principio di funzionamento si basa sull'azione di 2-4 rulli di macinazione supportati da bracci a cerniera che si muovono su un piano, o vasca, di macinazione orizzontale. Si tratta di sistemi di macinazione particolarmente adatti per la contemporanea macinazione ed essiccazione delle materie prime o dei correttivi, in quanto i mulini di questo tipo sono in grado di lavorare materiali con percentuali di umidità relativamente elevate. Il tempo di permanenza dei materiali nel mulino deve essere abbastanza breve, così da prevenire la pre - idratazione del clinker di cemento;
- Mulini orizzontali: Uno sviluppo più recente nel campo della macinazione del cemento è rappresentato dai a pista e rulli, costituiti da un guscio orizzontale corto poggiante su cuscinetti idrodinamici o idrostatici. Il guscio è azionato da un cambio circolare. All'interno del guscio si trova un rullo orizzontale che è libero di ruotare e può essere pressato idraulicamente contro il guscio. Il materiale da macinare viene immesso attraverso una o entrambe le estremità del guscio, e passa più volte tra il rullo e il guscio. Il materiale frantumato che esce dal mulino viene trasportato al separatore, mentre la frazione grossolana ritorna al mulino.

3.3.3. Utilizzo del cemento nell'architettura

La denominazione cemento deriva dal termine latino caementum, con cui vengono chiamati i frammenti di pietra usati dai romani per confezionare i calcestruzzi e passato poi ad indicare il conglomerato artificiale formato da malta di calce e da materiali lapidei in pezzi.

Il cemento viene usato come pasta per riprese di getti, pitture, calcestruzzi cellulari impiegati per blocchi da murature, per l'esecuzione di pareti portanti o di tamponamento o isolanti per solai e coperture. Più frequentemente il cemento viene usato per preparare la malta, da servire a murature, intonaci e finiture varie, ma soprattutto per formare il calcestruzzo nelle sue varie forme:

- *Semplice* → pasta + sabbia + ghiaia
- *Armato normale* → calcestruzzo + acciaio
- *Precompresso, leggero* → pasta + inerti leggeri

Come calcestruzzo semplice viene impiegato nelle fondazioni, nei muri, negli elementi prefabbricati, nei manufatti per impianti di irrigazione.

Come calcestruzzo armato, normale o precompresso, viene adibito per tutte le opere di ingegneria.

Il **calcestruzzo armato** è un materiale relativamente nuovo che ha profondamente modificato gli schemi statici ed architettonici delle costruzioni attuali. Ha consentito di superare, anche con strutture rettilinee o piane, le luci che prima si potevano coprire solo con gli archi e le volte. Ciò è reso possibile dalla complementarità di alcune caratteristiche dell'acciaio e del calcestruzzo: uguale coefficiente di dilatazione termica, forte aderenza fra i due materiali, buona resistenza a trazione dell'uno e buona resistenza a compressione dell'altro.

Gran parte dell'edilizia moderna è fondata sul cemento armato. Non vanno tuttavia nascosti i gravi problemi di durabilità e manutenzione.

- *Storia del cemento armato:*

Un primo tipo di calcestruzzo, avente per legante la pozzolana mista a calce, fu impiegato dai romani con il nome di *betunium*; dal nome latino deriva quello di "beton" usato oggi da francesi e tedeschi. Si trattava di un conglomerato impiegato per fondazioni, per murature di grande spessore e, qualche volta, per riempire i cassettoni delle cupole compresi tra i costoloni di muratura di mattoni disposti secondo i meridiani e i paralleli ovvero per realizzare delle cupole. La *cupola del Pantheon* a Roma è un chiaro esempio dell'impiego di questo conglomerato, al cui interno si ritrovano cocci di laterizio e di altro materiale, in quanto il confezionamento del *betunium* era anche l'occasione per smaltire notevoli quantità di materiali di risulta.

L'inserimento di armature metalliche nel calcestruzzo è un'operazione remota perché già nei conglomerati di epoca romana sono state trovate barre e grate di ferro. Tuttavia non vi si può tuttavia ravvisare un sia pur primitivo calcestruzzo armato perché l'associazione dei due materiali appare casuale e priva dello scopo di sfruttarne la collaborazione statica. Alcuni esempi di costruzione in muratura armata possono essere ritrovati nelle *chiese seicentesche e settecentesche*, in cui era prassi inserire delle armature metalliche, usualmente dei piatti di acciaio, nel corpo delle cupole. Tuttavia i

criteri con cui venivano inseriti questi rinforzi metallici e con quale scopo sono ancora oggi poco conosciuti.

In realtà il cemento armato nacque nella seconda metà del secolo scorso, preceduto da circa un secolo di ricerche sui leganti (calce e cemento) iniziate da Smeaton (1756) e da Parker (1796) ai quali si deve la scoperta delle proprietà di presa e di indurimento dei calcari argillosi convenientemente calcinati. Seguirono gli studi di Lesage (1800) e di Vicat (1818), di cui si impiega ancora oggi l'ago di Vicat per la misura della consistenza della pasta cementizia, che consentirono il sorgere delle prime fabbriche di cemento a Portland (1824). Furono proprio le ricerche e le conoscenze scientifiche sui leganti, seguite dalla produzione industriale del cemento, a permettere lo sviluppo del cemento armato come sistema costruttivo. Il cemento oggi noto come cemento Portland deve il suo nome alla collocazione geografica della prima fabbrica di cemento; oggi s'individua con questo nome un cemento, di origine artificiale come tutti i cementi moderni, con composizione chimica analoga a quella prodotta a Portland mediante la calcinazione dei calcari argillosi della zona.

Nel 1861 l'ing. *Francesco Coignet*, nel volume "Béton agglomérés appliqués à l'art de construire" pubblicava i risultati ottenuti sperimentando travi, solette e volte nelle quali aveva incorporato profilati di acciaio, primo esempio di applicazione del cemento armato a quello che ne sarebbe divenuto il settore principe: le costruzioni civili. Il maggior contributo allo sviluppo del cemento armato, però, lo si deve al giardiniere parigino *Giuseppe Monier* il quale brevettò nel 1867 il procedimento per costruire vasi in malta di cemento rinforzata con un'ossatura di fili di ferro, primo vero esempio di conglomerato cementizio rinforzato con armature metalliche per sopperire all'intrinseca debolezza a trazione del materiale. Monier estese, poi, il sistema al campo delle costruzioni vere e proprie depositando una lunga serie di brevetti riguardanti inizialmente la sua attività, tubi e serbatoi (1868), ma subito dopo anche le costruzioni: solettoni (1869), ponti (1873), scale e volte (1875). In questi brevetti sono contenuti elementi e principi sulla disposizione delle armature i quali, anche se basati su concetti empirici che spesso tradiscono l'origine empirica ed applicativa delle conoscenze del Monier, testimoniano la sua larghezza di vedute e consentono di ritenere che egli sia stato il vero ideatore del cemento armato.

Nonostante i brevetti di Monier arrivino tutti prima del 1875, si dovranno attendere ancora circa 30 anni per assistere alla diffusione senza più sosta del cemento armato come tecnica costruttiva in quanto i precursori del nuovo mezzo costruttivo cercavano intuitivamente di conferire al calcestruzzo la necessaria resistenza a flessione e, pur basandosi sui suggerimenti dell'esperienza, non sempre riuscivano a darne la giustificazione statica. A questo modo riuscivano a ottenere valide soluzioni per

specifici problemi, ma non riuscirono a fornire le indicazioni di validità generale necessarie per l'applicazione su vasta scala della nuova tecnologia.

Quasi contemporaneamente a Monier, l'americano *Taddeo Hyatt* eseguiva prove su travi armate con ferri piatti; i risultati, pubblicati nel 1877, risultarono assai importanti perché fissarono un accettabile rapporto tra i moduli d'elasticità dell'acciaio e del calcestruzzo e stabilirono l'uguaglianza dei coefficienti di dilatazione termica dei due materiali. La disposizione delle armature nei due tipi di trave sperimentati da Hyatt preludeva alle future corrette posizioni.

Nel 1884 i brevetti Monier si diffusero in Germania e, soprattutto per merito dell'ing. *Gustav Adolf Wayss* i laboratori e gli ingegneri cominciarono ad interessarsi attivamente del nuovo materiale. Ed è proprio alla scuola tedesca che si deve l'organizzazione sistematica delle conoscenze sul cemento armato, come noi le conosciamo oggi, e la sua applicazione su vasta scala. L'ing. Wayss ed il prof. Bauschinger di Monaco, sulla base di una serie di esperienze sperimentali, fissarono i principi fondamentali del sistema: l'aderenza acciaio-calcestruzzo impone ai due materiali di agire staticamente assieme ed il posizionamento delle armature in prossimità del lembo teso.

I primi fondamenti del calcolo furono pubblicati da *Mattias Könen* nel 1886. Approfondite ricerche teorico-sperimentali furono compiute in Germania anche da Mörsch (cui si deve il fondamentale traliccio di Mörsch cui ancora oggi si richiamano i ricercatori), Back e Kleinloghel.

La nuova tecnologia si era ormai diffusa in tutta l'Europa centrale, cosicché in questi anni si ritrovano diversi studi eseguiti in tutta Europa:

- In *Austria* lavoravano Neumann, Melan; si ricordino per la costruzione dei ponti) ed Empergher;
- In *Svizzera* si occuparono di cemento armato Richter, che elaborò il metodo per la soluzione delle strutture reticolari isostatiche insegnato ancora oggi, e Schüle;
- Negli *Stati Uniti*, sulla strada indicata da Hyatt, si affermarono i nuovi sistemi costruttivi Ransome e Wilson;
- In *Italia* si ebbero numerose, anche se ignorate, applicazioni nell'ultimo decennio dell'800; le costruzioni in cemento armato furono più frequenti in regioni soggette a movimenti tellurici e fu il terremoto di Messina del 1908 a metterne in evidenza la resistenza alle azioni sismiche.

L'inizio del XX secolo segnò la grande diffusione del cemento armato in Italia; il merito fu soprattutto della Società Ing. Porcheddu di Torino che costruì importanti opere pubbliche. Ad essa va il merito dell'esecuzione, nel 1910, su progetto dell'intuitivo Hennebique, del *ponte Risorgimento* di Roma,

ponete di oltre 100 m di luce. L'opera, di risonanza mondiale per il suo ardimento, fu oggetto di studio per molti anni dopo la sua costruzione in quanto il ponte presenta un diffuso e rilevante stato di fessurazione che si manifestò a breve dalla sua costruzione. L'interesse che suscitò la costruzione del ponte è dovuta in parte all'assenza di una rigorosa procedura di calcolo nel



Fig.36. Ponte Risorgimento, Roma

procedimento della sua progettazione. Oggi, a distanza di 90 anni il ponte gode di ottima salute, ma forse proprio per l'intervento dei Hennebique che, ordinando un disarmo precoce, da un lato favorì la fessurazione della struttura, ma dall'altro favorì anche la redistribuzione delle tensioni all'interno della struttura verso l'assetto statico che ha consentito al ponte di giungere fino a noi pressoché intatto.

Sostanzialmente, quindi, il cemento armato è nato nell'ultimo decennio del secolo scorso con lo scopo di produrre elementi prefabbricati di solai e scale da inserire in costruzioni a prevalente struttura muraria.

Un caratteristico esempio genovese é offerto dall'*Hotel Miramare*. L'edificio, costruito negli anni 1906-1908, su progetto dell'arch. Luigi Coppedè e dell'ing. A. Bringolf di Lucerna, è formato da una struttura portante muraria e da solai costruiti con travetti prefabbricati in conglomerato armato a sezione quadrata cava tra loro affiancati.

La tecnica costruttiva nel frattempo era in continua evoluzione, spinta dai progressi nelle altre discipline, quali l'analisi matematica che sviluppò in quegli anni efficaci metodologie per la soluzione di sistemi di equazioni differenziali, e dalla diffusione della cultura tecnica sotto forma di formulari e tavole di progettazione. In ambito italiano l'impiego di strutture portanti interamente in cemento armato

si diffonde nel ventennio fascista.

L'architetto franco-svizzero *Le Corbusier* (1887-1965) fu tra i primi a comprendere le potenzialità innovative del calcestruzzo armato nell'ambito dell'architettura contemporanea ed a sfruttarlo ampiamente nelle sue opere, dopo averne visto le potenzialità intuite dal suo maestro Auguste Perret, tra le cui opere in calcestruzzo armato spicca *la casa in Rue Franklin* a Parigi del 1903. In Italia il calcestruzzo armato iniziò a diffondersi a cavallo fra il XIX e il XX secolo.



Fig.37. Casa in Rue Franklin

Esempi di architetture in cemento armato:

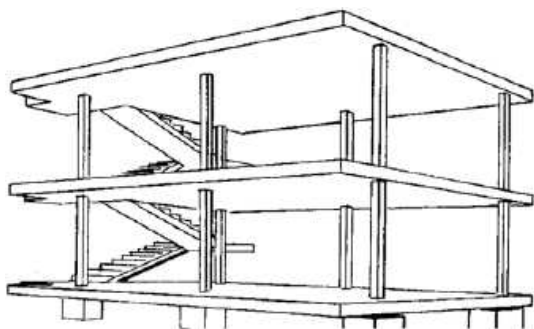


Fig.38. Le Corbusier, system Dom-ino (1914)



Fig.39. Le Corbusier, Ville Savoye (1931)



Fig.40. Maillart, pilastro a fungo (1908)



Fig.41. Maillart, Zementhalle (1939)

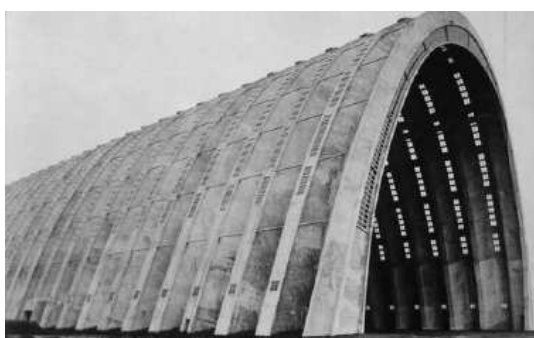


Fig.42. R.Morandi, Hangar Orly (1916)



Fig.43. F.Candela, ristorante (1958)

3.3.4. Normativa di riferimento

Leggi:

- Legge 5 novembre 1971 - n°1086 "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".

Decreti ministeriali:

- D.M. 20 novembre 1987 - "Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento";
- D.M. 14 febbraio 1992 "Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche". (sostituito dal D.M.9/1/1996 che, al comma 2 dall'art.1, riconosce ancora applicabili le norme tecniche del presente decreto per la parte concernente le norme di calcolo e le verifiche col metodo delle tensioni ammissibili e le relative regole di progettazione e di esecuzione);
- D.M. 9 gennaio 1996 - Ordinanza (Carichi e sovraccarichi);
- D.M. 9 gennaio 1996 - "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche" - Parte I e Parte II;
- D.M. 16 gennaio 1996 - "Norme tecniche relative ai Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi";
- D.M. 14 settembre 2005 - "Norme tecniche per le costruzioni". (coesistente con i decreti precedenti fino al 31/12/2007, data in cui non potranno più essere applicati il D.M. 09/01/1996 e il D.M. 16/01/1996);
- D.M. 14 gennaio 2008 - "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni".

3.4. Calcestruzzo

Il calcestruzzo è un conglomerato artificiale costituito da una miscela di legante, acqua e aggregati (sabbia e ghiaia) e con l'aggiunta, secondo le necessità, di additivi o aggiunte minerali che influenzano le caratteristiche fisiche o chimiche del conglomerato sia fresco che indurito.

Attualmente il legante utilizzato per confezionare calcestruzzi è il cemento, ma in passato sono stati realizzati calcestruzzi che utilizzavano leganti differenti come la calce aerea o idraulica. Raramente è stato utilizzato anche il gesso per realizzare calcestruzzi poveri.

Il calcestruzzo fresco viene gettato all'interno dei casseri e costipato con vibratori, ma esistono formulazioni moderne del calcestruzzo dette autocompattanti che non richiedono la costipazione.

Il cemento, idratandosi con l'acqua, fa presa e indurisce conferendo alla miscela una resistenza tale da renderla assimilabile ad una roccia. È oggi utilizzato per realizzare le parti strutturali di un edificio ed è il materiale da costruzione più impiegato nel mondo.

La vita nominale di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta a manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

La vita utile deve essere stabilita in fase progettuale, con riferimento alla durabilità delle costruzioni, del dimensionamento delle strutture e della scelta dei materiali, ecc. (p.to C.2.4.1 della Circolare n.617/09).

Il D.M. 14.01.2008 ad esempio prevede per opere ordinarie una vita nominale ≥ 50 anni

È bene chiarire che la vita utile non è la vita effettiva dell'opera, che dipende da fattori non prevedibili in fase progettuale.

Di norma la vita effettiva di un'opera è maggiore di quella nominale poiché spesso su questa si effettuano interventi di manutenzione strutturale che ne allungano la durata

3.4.1. Requisiti tecnici del calcestruzzo

Il conglomerato cementizio, come tutti i materiali lapidei, ha una buona *resistenza a compressione*, cioè si comporta discretamente quando è sottoposto a sforzi di compressione, mentre il suo comportamento agli sforzi di trazione diretta o di trazione per flessione è notevolmente scadente. Per questi tipi di sollecitazione viene sfruttato l'ottimo connubio con l'acciaio, utilizzato sotto forma di tondini, a cui si demanda l'assorbimento degli sforzi di trazione, dando origine così al materiale composito notoriamente indicato con il nome di *calcestruzzo armato*.

Il calcestruzzo indurito è classificato in funzione del *suo peso specifico* nelle seguenti classi, come definito dalla UNI EN 206-1:2006:

- *Calcestruzzo leggero*: è un calcestruzzo avente una massa volumica dopo l'essiccamento in stufa non minore di 800 kg/m³ e non maggiore di 2000 kg/m³;
- *Calcestruzzo pesante*: è un calcestruzzo avente una massa volumica dopo l'essiccamento in stufa maggiore di 2600 kg/m³
- *Calcestruzzo normale*: è un calcestruzzo avente una massa volumica dopo l'essiccamento in stufa maggiore di 2000 kg/m³ ma non maggiore di 2600 kg/m³.

3.4.2. Tipo e dosaggio del calcestruzzo

Al fine di garantire, alle strutture in calcestruzzo le prestazioni richieste con riferimento specifico al grado di durabilità, alla lavorabilità e alla resistenza meccanica, deve essere effettuato dal produttore uno studio della miscela del calcestruzzo, detto progetto di miscela, che deve tenere in considerazione anche le caratteristiche delle materie prime disponibili.

Si devono tenere in considerazione alcune correlazioni quali:

1. *la lavorabilità* cresce all'aumentare della quantitativo di acqua utilizzata per l'impasto e dipende dalle caratteristiche degli inerti utilizzati (diametro massimo previsto e superficie dell'inerte: liscia o scabra) oltre che dalla presenza di eventuali additivi specifici;
2. *la resistenza meccanica* invece è funzione del rapporto acqua/cemento e della quantità di cemento da utilizzare (se misurata a 28 giorni dipende anche dal tipo e dalla classe del legante) al diminuire della prima e al crescere della seconda aumenta la resistenza meccanica;
3. *il grado di durabilità* cresce in maniera inversamente proporzionale con il rapporto a/c.

Pertanto il parametro principale del progetto di miscela è il rapporto acqua/cemento che deve essere idoneo a garantire le prestazioni richieste al calcestruzzo.

Questo significa che per aumentare la lavorabilità, senza l'utilizzo di additivi, bisogna aumentare la quantità di acqua ma proporzionalmente anche il tenore di cemento per mantenere costante il valore acqua/cemento atteso necessario per non compromettere il grado di durabilità e la resistenza meccanica del materiale.

Ma un idoneo progetto di miscela è condizione necessaria ma non sufficiente a garantire in opera un calcestruzzo con le qualità richieste dal progettista. Infatti la qualità del calcestruzzo in opera dipende dal processo esecutivo. Infatti è necessario posare a regola d'arte il conglomerato fresco che deve essere gettato e costipato in maniera adeguata (a rifiuto) ed inoltre subito dopo la sua scasseratura per un

adeguato numero di giorni (almeno 3) si dovrà procedere ad un'ideale stagionatura del getto, per proteggerlo dall'evaporazione eccessiva.

3.4.3. Normativa di riferimento

- D.M. Infrastrutture del 14 gennaio 2008
- Circolare 2 febbraio 2009 n. 617/C.S.LL.PP.
- Consiglio Superiore dei LL.PP. - STC: Linee Guida sul calcestruzzo strutturale
- Consiglio Superiore dei LL.PP. - STC: Linee Guida sul calcestruzzo preconfezionato
- Consiglio Superiore dei LL.PP. - STC: Linee Guida su calcestruzzi strutturali ad alta resistenza
- Consiglio Superiore dei LL.PP. - STC: Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive
- UNI EN 206-1: Calcestruzzo parte 1 - specificazione, prestazione, produzione e conformità
- UNI 11104: Calcestruzzo - specificazione, prestazione, produzione e conformità: istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1

3.5. Malta

Si definisce malta un impasto o miscela intima ed uniforme formata da un legante (calce aerea, calce idraulica, cemento), da acqua e da un inerte o aggregato di pezzatura fine rappresentato da sabbia. La malta trova impiego nelle strutture murarie come materiale di connessione fra i vari elementi costitutivi, come conci o scapoli di pietra, elementi in laterizio, in opere di completamento e di finitura come componente unico o come aggregante rispettivamente negli intonaci e nei pavimenti e rivestimenti.

La qualità della malta dipende dalla presenza di impurità e di sostanze estranee tra i materiali che la compongono; i leganti devono possedere le doti già descritte in precedenza, mentre nella scelta dell'acqua di impasto, delle sostanze inerti (sabbia, ghiaia, pietrisco) e dei materiali che conferiscono idraulicità occorre rispettare una serie di regole che se non applicate, possono limitare le caratteristiche di resistenza e rendere irregolare la presa e l'indurimento del legante.

Nella preparazione della malta le caratteristiche dell'acqua che condizionano maggiormente il risultato finale dopo la posa in opera sono:

- *qualità dell'acqua*
- *temperatura*
- *quantità*
- *inerti*

- L'acqua: l'acqua adatta all'impasto della malta deve risultare priva o quasi di impurità in sospensione e disciolte. Dalla limpidezza dell'acqua si determina immediatamente la presenza di particelle fini di origine minerale o di sostanze organiche che impediscono la perfetta adesione tra leganti e inerti; più difficile è individuare il contenuto in Sali disciolti, che deve risultare basso soprattutto per quanto riguarda i solfati, i cloruri, i nitrati e i composti ammoniacali. Queste sostanze risultano dannose e provocano un lento asciugamento della malta con produzione di efflorescenze e macchie sui muri insieme a scadenti qualità di resistenza dopo la presa e l'indurimento.

In genere conoscendo la provenienza delle acque è possibile stabilire anche senza analisi specifiche, la loro maggiore o minore purezza. L'acqua deve essere dolce o di limitata durezza; se per le malte aeree un certo tenore di bicarbonati di calcio o di magnesio non condiziona molto la presa e l'indurimento, per le malte idrauliche anche una limitata quantità di solfati può dar luogo alla formazione di

componenti espansivi (solfo, alluminati di calcio) che provocano la fessurazione e il disgregamento delle malte anche dopo che si è prodotta la loro solidificazione.

In cantiere per la depurazione dell'acqua vengono usati apparecchi basati sul processo di scambio delle basi in cui particolari sostanze possono combinare il calcio e il magnesio che vengono sostituiti con sodio.

- *La temperatura*: la temperatura condiziona il tempo di presa della malta; l'acqua calda accelera la presa e nelle stagioni fredde viene appositamente riscaldata per evitare che le malte a base di calce aerea e di calce idraulica siano sottoposte al gelo prima della presa e si disgreghino per l'aumento di volume conseguente alla formazione di ghiaccio negli interstizi.

Le malte cementizie resistono a temperature al di sotto del punto di congelamento, poiché il legante interrompe la presa che rimane sospesa fino al disgelo senza far perdere alla malta le sue proprietà finali. Attualmente, in caso di basse temperature, alle malte vengono aggiunti prodotti in grado di aumentare la velocità di idratazione del legante abbassando nel medesimo tempo la temperatura di congelamento dell'acqua;

- *La quantità*: nella preparazione delle malte tradizionali a base di calce l'acqua va versata gradualmente sul legante e sulla sabbia continuando a rimescolare la miscela; quando questa è ben impastata deve presentarsi di consistenza non troppo morbida, ma omogenea, senza parti grumose e senza acqua in eccesso che formi dei ristagni alla sommità del cumulo o scorra intorno ad essa. Il ferro usato per manipolare l'impasto deve uscire dal mucchio pressoché pulito e la malta deve scivolare senza lasciare granuli che denotano scarsità d'acqua o un velo di liquido lattiginoso, quando questa è usata in quantità troppo abbondante.

Il volume d'acqua necessario all'impasto cresce con l'aumento del tenore di inerti; la quantità dipende anche dal grado di finezza del legante. In particolari condizioni, quando la malta è assoggettata a forti carichi o impiegata in stagioni umide oppure in presenza di elementi di muratura con struttura poco porosa, la quantità d'acqua di impasto deve essere più scarsa. Al contrario, durante la stagione calda o per murature sottoposte a carichi limitati e soprattutto quando laterizi e pietre da costruzione possiedono una struttura porosa, è meglio dosare in eccesso la quantità d'acqua per rendere più lavorabile la massa dell'impasto;

- *Gli inerti*: vengono chiamati inerti perché una volta miscelati nella malta partecipano all'impasto con funzioni quasi del tutto meccaniche. I processi di presa e di indurimento dei leganti vengono accompagnati da una diminuzione di volume derivata in gran parte dall'evaporazione dell'acqua usata nell'impasto e dal prodursi del nuovo assetto cristallino; gli inerti costituiscono uno scheletro diffuso in tutto il corpo della malta in grado di produrre fessurazioni nella massa o distacchi tra i cristalli formati dopo l'idratazione.

La *sabbia* è il disfacimento di rocce compatte ad opera degli agenti atmosferici, dei corsi d'acqua o dell'azione delle onde marine. Si trova in depositi clastici di varia origine ed è composta da una o più specie minerali che ne determinano il colore; questo secondo la provenienza. La sabbia migliore è quella col minimo contenuto di parti terrose. Per la confezione delle malte devono essere usate sabbie con granuli di natura compatta e non friabile; quelle silicee, con un alto contenuto di minerali quarzosi, rispondono a questi requisiti; le sabbie calcaree tendono ad assorbire parte dell'acqua dell'impasto della malta. Le dimensioni dei granuli devono essere scelti in funzione dell'impiego per garantire il massimo della compattezza all'impasto. Nella costruzione viene adoperata di preferenza la sabbia con grana grossa, che accelera i tempi di indurimento della malta e ne aumenta la resistenza finale. In genere la sabbia da 5 mm risulta adatta alla confezione di calcestruzzi; da impiegare in pietrame e laterizio viene usata la sabbia passante a 3 mm; per muri in mattoni a vista e per intonaci l'impasto di malta richiede la sabbia passante a 1 mm; la sabbia inferiore a ½ mm dà malte porose e poco resistenti alla compressione, ma fortemente adesive e quindi usate solo per l'intonaco a finire.

La ghiaia è il prodotto del rotolamento di pezzi di roccia staccati dalle pendici montuose; la forma arrotondata degli elementi e le loro dimensioni dipendono dalla lunghezza del tragitto compiuto ad opera delle acque correnti. La frazione più piccola ha dimensioni comprese tra 0.75 e 1.5 cm, mentre la ghiaia grossa varia tra 5 e 8 cm; elementi con misure maggiori vengono chiamati genericamente ciottoli e spesso servono per la produzione di pietrisco, formato da schegge e frammenti di pietra e spigoli vivi. La ghiaia e il pietrisco, dopo il lavaggio per eliminare le parti argillose o terrose, sono usati in miscela con la sabbia e con il legante per la produzione del calcestruzzo, di cui formano la massa principale. Il diametro dei singoli elementi, per i normali usi costruttivi, non super i 4-5 cm, ma la misura può variare in funzione del tipo di lavoro.

Principali malte da costruzione:

- *Malta di calce aerea*: per ottenere la malta di calce aerea si impiega il grassello di calce, ottenuto con lo spegnimento della calce in acqua. La calce spenta o grassello si presenta come una pasta omogenea, morbida ed untuosa al tatto, di colore biancastro. Con 1 m³ di calce in zolle si ottiene circa 3 m³ di grassello, se la calce è grassa, e 2 m³ di grassello, se la calce è magra. Prima dell'uso per le malte, il grassello deve stagionare un certo periodo di tempo; per gli intonaci almeno 6 mesi, coperto con uno strato di sabbia di 5 cm. La stagionatura si rende indispensabile per evitare che parti di calce non si siano idratate; se dopo la costruzione avviene l'idratazione a causa dell'umidità, si verifica il fenomeno detto sbullettatura, cioè distacco di una parte dell'intonaco, causato dal rigonfiamento della particella idratata in ritardo.

Oggi la calce viene fornita già idrata ed in polvere, basta conservarla in locali asciutti ed aerati.

La malta ottenuta con il grassello è adatta per murature di mattoni o di pietrame, purché fuori terra, in quanto il fenomeno di presa, può avvenire solo all'aria;

- *Malte di calce idraulica e cementizia*: la malta di calce idraulica si confeziona con sabbia, calce idraulica ed acqua, nella quantità necessaria per ottenere un impasto di giusta fluidità. Si possono usare le calci leggermente, mediamente ed eminentemente idrauliche, con una quantità di sabbia che varia in relazione all'uso della malta. Le calci idrauliche fanno presa sia all'aria che in presenza di acqua; quindi possono essere usate per strutture murarie sotto il piano di campagna ed in luoghi molto umidi. Per ottenere una buona malta, si mescola una parte di grassello di calce con tre o quattro parti di pozzolana. L'aggiunta della pozzolana alla malta di calce aerea, oltre a dare la possibilità della presa nell'acqua, conferisce alla malta stessa una maggiore resistenza a compressione.

Le malte cementizie si ottengono mescolando il cemento in polvere con sabbia e acqua. In genere, il cemento adatto è quello a lenta presa. Le proporzioni fra cemento e sabbia sono:

- *magra* (cemento: 300 Kg; sabbia: 1 m³) per grosse murature di pietrame;
- *normale* (cemento: 400 Kg; sabbia: 1 m³) per murature ordinarie di pietrame e mattoni;
- *grassa* (cemento: 500 Kg; sabbia: 1 m³) per pavimentazioni ed intonaci;
- *molto grassa* (cemento: 600 Kg; sabbia: 1 m³) per intonaci e impermeabilizzazioni.

Per gli intonaci la malta cementizia ne facilita l'esecuzione e viene normalmente impiegata;

- Malte bastarde: sono eseguite con l'aggiunta di altri leganti oltre a quello fondamentale, in modo da conferire alle malte stesse i requisiti idraulicità e resistenza. Le malte bastarde trovano largo impiego per le strutture murarie di qualsiasi tipo e per la posa in opera delle pavimentazioni e dei rivestimenti. La loro composizione per 1 m³ di sabbia è:

- malta media, calce aerea 0.3 m³ cemento (R. 325) 100 Kg;
- malta forte, calce aerea 0.3 m³ cemento (R. 325) 150 Kg;
- malta idraulica-cementizia media, calce idraulica 300 ÷ 400, cemento (R. 325) 100 Kg;
- malta idraulica-cementizia forte, calce idraulica 200 ÷ 300, cemento (R. 325) 200 Kg.

Usando cemento e calce idraulica, il rapporto fra i due elementi può essere variabilissimo, ed in genere è lo stesso operaio che aumenta di volta in volta o l'uno o l'altro dei due componenti, in relazione al tipo di impiego;

- Malte di gesso: la malta di gesso si ottiene mescolando un volume di gesso in circa mezzo volume di acqua. La presa è molto rapida, per cui la malta deve essere preparata in un paniere di legno, in piccole quantità, e subito adoperata. Ad ogni successiva preparazione occorre una perfetta pulizia dei residui di malta sul recipiente. Le malte di gesso oggi impiego per gli intonaci interni, per il costo modesto del gesso e la facilità di applicazione. Il gesso, indurendo, aumenta di volume, e per questo la malta di gesso viene impiegata anche per il fissaggio a muri e pareti di grappe, tasselli di legno, staffe, che restano saldamente ancorati. Il gesso non deve essere posto a diretto contatto con materiali ferrosi, che attacca con notevole rapidità. Volendo ridurne il tempo di presa, si può mescolare la malta di gesso con la malta di calce, ottenendo un malta bastarda, con una presa ritardata, che viene usata in cantiere per particolari lavori, come il fissaggio di lastre di marmo

- Malte pronte: sono comode per la facilità della preparazione e dell'impiego. Si tratta di miscele a secco a base di inerti selezionati, ad alto tenore di parti fini (diametro massimo 2 mm) e di leganti in genere cementizi, con dosaggi calibrati.

Per usi particolari gli inerti sono integrati con microsilicati e microfibre sintetiche, che conferiscono alle malte stesse determinate caratteristiche. Le malte pronte sono confezionate in sacchi da 25 Kg, da conservare in luoghi asciutti e da utilizzare entro 6 mesi; la preparazione delle malte viene fatta

con aggiunta di acqua (1 litro per 5 kg di miscela) in un miscelatore meccanico, fino ad ottenere un impasto omogeneo. Le malte pronte presentano:

- buona lavorabilità e aderenza al calcestruzzo, pietra, laterizio o acciaio;
- elevata resistenza meccanica a compressione, e per alcuni tipi anche a trazione;
- elevata compattezza e impermeabilità.

Le malte pronte possono essere impiegate per murature, intonaci, intonaci impermeabili, intonachini, per ancoraggi, riparazioni, per ricostruzioni protettive di copriferro del cemento armato, di spigoli rotti o erosi.

3.5.1. I collanti e gli additivi

I *collanti*, usati per la posa dei pavimenti e dei rivestimenti, si dividono in quattro tipi:

- *collanti a base di cemento*, che contengono cemento bianco, sabbia, fibre minerali, additivi vari (lattice di gomma o resine acriliche); sono venduti in polvere a cui va aggiunta solo l'acqua;
- *collanti a base di gomma in soluzione*, composte da gomme naturali o neoprene disciolti in liquidi, con cariche minerali a base di silice ed altri additivi; sono venduti in forma di pasta pronta all'impiego;
- *collanti a base di resine viniliche* o acriliche, composti da aceto o da acrilato di polivinile in dispersione acquosa, con altri additivi; sono forniti in pasta pronta per l'uso;
- *collanti a base di resine a due componenti*, composti di resine poliesteri o poliuretaniche con un prodotto indurente ed inerti; la miscelazione viene fatta al momento dell'applicazione.

I collanti vengono applicati a spessori sottili, dopo circa 30 minuti perdono la capacità adesiva. Una caratteristica positiva dei collanti è il tempo di aggiustabilità, cioè il tempo disponibile (circa 10 min.) per modificare la posizione dell'elemento incollato in modo sbagliato.

Gli *additivi* aggiunti alle malte al momento dell'impasto ne modificano le caratteristiche intrinseche a seconda delle varie esigenze:

- *Fluidificanti* che facilitano la scorrevolezza dei componenti dell'impasto al momento dell'impiego;

- *Ritardanti* che hanno lo scopo di ritardare l'inizio della presa quando fra la preparazione dell'impasto e il suo collocamento in opera si interpone un tempo troppo lungo entro il quale la presa avrebbe inizio;
- *Anticongelanti* che abbassano la temperatura di congelamento dell'acqua d'impasto permettendo così di operare a temperatura ambiente inferiore a 0° ;
- *Impermeabilizzanti* e idrofughi che conferiscono alle malte caratteristiche di impermeabilità e di idro-repellenza;
- *Plasticizzanti* che aumentano la capacità di adesione delle malte.

Gli effetti dei vari additivi sono più o meno accentuati non solo in relazione al loro dosaggio ma anche alla diversa composizione degli impasti; tuttavia a fronte di un vantaggio immediato l'additivo col tempo produce una diminuzione della resistenza meccanica.

3.5.2. Requisiti tecnici della malta

Data la varietà tipologica e qualitativa dei componenti e tutta una serie di fattori esterni dovuti all'ambiente e alle condizioni di impiego, le prestazioni di una malta possono variare entro margini molto ampi.

La *resistenza della malta*, che è in funzione del legante impiegato, può variare quindi entro limiti assai ampi. L'acqua per gli impasti deve essere limpida, priva di sostanze organiche, o grassi, ne contenere solfati o cloruri. La sabbia per le malte deve essere priva di sostanze organiche, terrose o argillose. I tipi di malta vengono classificati in quattro classi, in rapporto alla composizione in volume:

Classe	Tipo di malta	Composizione					Resistenza compressione	
		Cemento	Calce aerea	Calce idraulica	Sabbia	Pozzolana	N/mm ²	Kg/cm ²
M4	Idraulica	-	-	1	3	-	2.5	25
M4	Pozzolonica	-	1	-	-	3	2.5	25
M4	Bastarda	1	-	2	9	-	2.5	25
M3	Bastarda	1	-	1	5	-	5	50
M2	Cementizia	1	-	0.5	4	-	8	80
M1	Cementizia	1	-	-	3	-	12	120

Tab.10. Resistenza della malta

4. ISOLANTI

Tutti i materiali isolanti comuni hanno una loro giustificazione per campi di applicazione specifici. Nella costruzione di un edificio vengono utilizzati per lo più diversi materiali a seconda dello scopo di destinazione.

La scelta dei singoli materiali dipende strettamente dall'uso per cui sono destinati, dal tipo di costruzione e infine dalle preferenze di committenti e progettisti, ecc.. Per semplificare la scelta, nei seguenti paragrafi vengono illustrati senza esprimere alcun giudizio i materiali isolanti più comuni. Al paragrafo dedicato alla Produzione vengono indicate le materie prime impiegate per realizzare il materiale trattato, la relativa disponibilità ed una descrizione sommaria del processo di fabbricazione. Il titolo Applicazione tratta i campi di applicazione per cui il materiale risulta particolarmente idoneo. Al punto Caratteristiche e proprietà vengono specificate le proprietà isolanti, la capacità di diffusione del vapore acqueo, gli aspetti relativi alla resistenza e le peculiarità tipiche del materiale. La parte dedicata alle Considerazioni sull'aspetto ecologico e sanitario contempla alcune riflessioni sulle materie prime utilizzate e le problematiche correlate con la relativa preparazione, sul dispendio di energia necessario per la produzione, trasporto, e sugli effetti provocati sulla salute. Spesso si cerca di stilare un bilancio generale o un cosiddetto bilancio ecologico dei materiali isolanti. Purtroppo però la compilazione univoca di un bilancio ecologico, ovvero una catalogazione ecologica sommaria dei materiali isolanti, è praticamente impossibile, in quanto gli effetti esercitati sull'ambiente sono troppo differenti e quindi difficilmente confrontabili. Al momento della scelta è opportuno raffrontare gli effetti ecologici fondamentali, tra cui vi sono anche il dispendio di energia primaria per la produzione e/o estrazione delle materie prime, la fabbricazione del prodotto, il trasporto e il montaggio. Ulteriore difficoltà proviene dal fatto che in letteratura un medesimo materiale appare spesso non solo denominato ma persino definito da grandezze fisiche diverse; ciò è da ricondurre al fatto che la produzione è ripartita tra molteplici produttori i cui manufatti si differenziano per caratteristiche ed anche tipologia di applicazione. Pertanto i valori riportati sono da considerarsi indicazioni generali suscettibili di oscillazioni e variazioni. Anche se le fonti produttive sono parte in causa, costituiscono sempre la migliore fonte di notizie, per cui la completezza di informazione appare come uno dei principali criteri che contraddistingue la serietà del produttore.

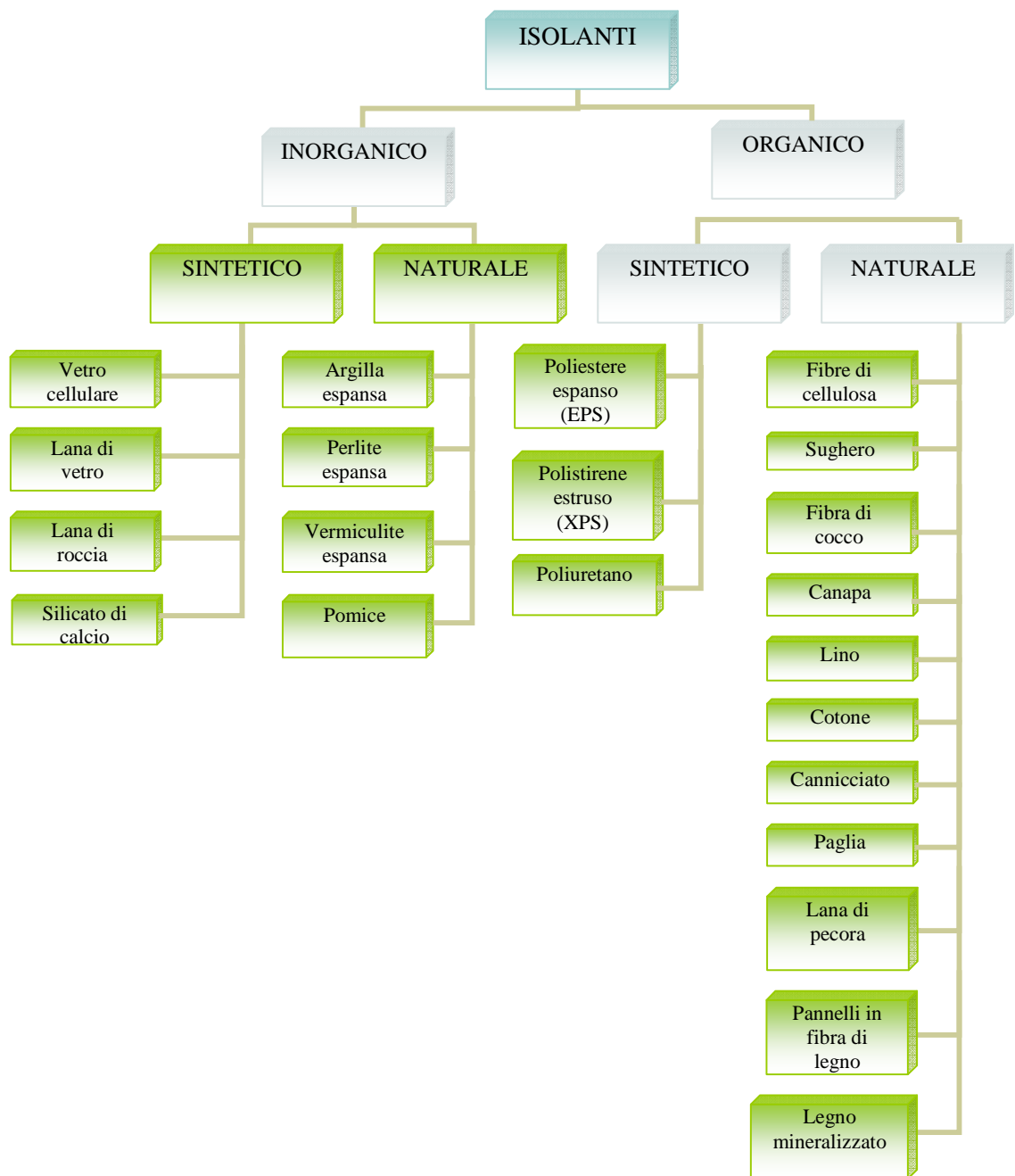


Grafico.1. Classificazione isolanti

4.1. Isolanti inorganici sintetici

VETRO CELLULARE



Fig.44. Vetro cellulare

Produzione del vetro cellulare: il vetro cellulare è un materiale isolante espanso a cellula chiusa. Il materiale di partenza è composto per il 66% da vetro riciclato e per la restante percentuale da sabbia quarzosa alla quale vengono addizionate altre sostanze specie il carbonato di calcio, ossido ferroso, carbonato di sodio. Le materie prime vengono fuse a 1.250°C ad una massa di vetro alla quale dopo essere stata macinata si aggiunge come propellente del carbonio.

Questa miscela viene inserita in vasche di acciaio al nichel-cromo e fatto ossidare, il carbonio a anidride carbonica in stufe da espansione ad una temperatura di circa 1.000°C. Durante questa procedura si formano delle bolle di gas che fanno espandere la miscela di 8-9 volte. Il materiale grezzo passa poi dalle vasche al forno di laminazione dove subisce un lento processo di raffreddamento che crea una depressione nella cellule gassose, successivamente viene tagliato nel formato richiesto.

Applicazione del vetro cellulare: i pannelli di vetro cellulare sono particolarmente adatti per l'isolamento perimetrale lungo le pareti esterne a contatto con la terra, sotto i plinti di fondazione, sulle terrazze o sui tetti piani e in generale in tutte le parti di edificio sensibili all'umidità. La lavorazione viene eseguita con seghe a mano. Il fissaggio viene operato con collanti speciali o a base di bitume oppure direttamente nel pietrisco fine, nella sabbia o nel calcestruzzo fresco. Il prodotto potrebbe riportare danni in seguito a sollecitazioni meccaniche durante il montaggio. Un altro campo di applicazione sono rivestimenti isolanti di tubazioni e di serbatoi. Il materiale isolante essendo stagno alla diffusione non si inumidisce a causa dell'acqua di condensa.

Caratteristiche e proprietà del vetro cellulare: Il vetro cellulare è stagno al vapore e all'acqua $\mu=\infty$, vale a dire che non assorbe alcuna umidità. È un materiale resistente al gelo e alle condizioni atmosferiche e regge bene le forti compressioni. I pannelli sono comunque relativamente leggeri e non infiammabili, non putrescibili e resistenti ai solventi organici e agli acidi. Le proprietà termoisolanti possono essere paragonate a quelle di altri materiali isolanti con un valore di conduttività termica che varia tra $\lambda= 0,04$ e $0,05$ W/mK.

Considerazioni sull'aspetto ecologico e sanitario: il dispendio di energia primaria nella fase di produzione è elevato. Il recupero di energia in fase di fusione ed espansione consente però di riutilizzare il calore prodotto. La longevità dei pannelli si ripercuote positivamente sul bilancio energetico complessivo. Il vetro cellulare non contiene gas nocivi per l'ozono. I pannelli impediscono la penetrazione del radon. Durante il taglio fuoriesce dell'acido non pericoloso di odore putrido. Nel sistema compatto tutti gli strati sono uniti tra loro a filo mediante massa collante calda o collante freddo a base di bitume. L'utilizzo di collanti caldi a base di bitume o di collanti emulsionanti comporta uno svantaggio ecologico durante la lavorazione. Non è possibile riutilizzare del vetro cellulare trattato con collanti (per esempio bitumi, resina sintetica) il vetro cellulare puro può essere riciclato senza alcun problema. Nella porzione delle pareti a contatto con la terra e per i tetti struttura inversa il vetro cellulare costituisce l'unica alternativa possibile ai pannelli in plastica e presenta caratteristiche particolari (per esempio una resistenza alla compressione senza deformazioni).

LANA DI VETRO



Fig.45. Lana di vetro

Produzione della lana di vetro: i materiali isolanti composti da lane di vetro e di roccia sono prodotti molto simili e vengono definiti anche con il termine collettivo di materiali isolanti a base di fibre minerali. La composizione della lana di vetro: 65% sabbia quarzosa/vetro vecchio, 14% soda, 7% dolomite, 4% feldspato e 4% calcare. La lana di roccia è composta per il 97% da diabase, basalto e dolomite. La roccia viene fusa a una temperatura di circa 1.400°C e

quindi filata in fibre minerali artificiali. Per ottenere una certa stabilità di forma dette fibre vengono miscelate con il legante bakelite (resina fenolo-formaldeide) che solidifica a contatto con un flusso di aria calda. A seconda della stabilità meccanica necessaria, la percentuale di legante può variare tra il 3% e il 19% in peso per la lana di vetro e tra l'1% e il 4% in peso per la lana di roccia. In relazione a ciò possono verificarsi delle concentrazioni di formaldeide, che però dopo il montaggio risultano nettamente inferiori al valore indicativo di 0,1 ppm. Il legante conferisce la tipica colorazione gialla della lana di vetro, mentre la lana di roccia deve il suo colore verdastro al contenuto di ferro. Per coadiuvare la fusione viene impiegato il solfato di sodio. I pannelli isolanti per facciata vengono inoltre sottoposti ad un trattamento impermeabilizzante con delle sostanze idrofobizzanti a base di silicone o oli minerali (al massimo 1 %). Gli oli utilizzati legano anche le polveri di fibra.

Applicazione della lana di vetro: i materiali isolanti a base di fibra minerali vengono proposti per tutti i campi di applicazione, ad eccezione per le pareti a contatto con la terra e per l'isolamento dei tetti a struttura inversa.

Feltro autobloccante si blocca da solo tra gli elementi strutturali in legno.

Feltro termoisolante eventualmente accoppiato con un foglio di alluminio.

Pannelli fonoisolanti anticalpestio, per es. sotto i pavimenti continui flottanti.

Pannelli isolanti per facciata come elemento di un sistema compound termoisolante. Quale strumento di taglio è preferibile usare una lama piuttosto che una sega. Se nel corso dei lavori venisse sprigionata della polvere, si consiglia di utilizzare una mascherina, occhiali e guanti protettivi. In caso di montaggio ermetico non è prevedibile alcun inquinamento dell'aria dell'ambiente.

Caratteristiche e proprietà della lana di vetro: la lana di vetro e di roccia presentano proprietà termoisolanti buone ($\lambda=0,035-0,04$ W/mK), una buona resistenza all'invecchiamento e una stabilità di forma esauriente se il materiale isolante è protetto contro l'umidità. La conduttività termica aumenta fortemente già con una leggera umidificazione. I materiali isolanti a base di fibre minerali devono pertanto essere protetti molto bene contro l'umidità. Le lane di vetro e di roccia sono permeabili al vapore ($\mu = 1-2$), resistenti ai parassiti e non putrescibili. Classe di infiammabilità 1, non infiammabile. In caso di incendio a partire dalla temperatura di circa 250°C il legante si volatilizza provocando un insaccamento dal materiale isolante.

Considerazioni sull'aspetto ecologico e sanitario della lana di vetro: le materie prime di natura minerale sono disponibili in quantità praticamente inesauribile. L'inquinamento ambientale provocato dalla relativa produzione riguarda soprattutto il consumo di energia necessario per la fusione delle sostanze minerali di partenza. Le polveri di fibra minerale artificiale sono oggetto di discussioni critiche a livello internazionale a causa del loro possibile potere cancerogeno. Sulla base delle conoscenze scientifiche attualmente disponibili non sembra tuttavia esserci alcun rischio per la salute umana, se le polveri di fibra presentano un sufficiente grado di biodegradabilità, e quindi una permanenza soltanto breve all'interno dell'organismo umano. Durante la lavorazione delle fibre minerali si può avvertire una sensazione di irritazione della pelle dovuta all'azione meccanica delle polveri di fibra minerale. Nel caso in cui si produce una grande quantità di polvere si possono inoltre avvertire dei disturbi e delle sensazioni d'irritazione a carico delle vie respiratorie e degli occhi. Durante i lavori di ristrutturazione è possibile riutilizzare il materiale isolante se non è impregnato di

umidità oppure imbrattato o contaminato. I materiali isolanti a base di fibre minerali presentano un'alta versatilità d'uso se resi stagni al vento e all'umidità, misura che per altro serve anche per arginare il rilascio di fibre fini.

LANA DI ROCCIA



Fig.46. Lana di roccia

Produzione della lana di roccia: i materiali isolanti composti da lane di vetro e di roccia sono prodotti molto simili e vengono definiti anche con il termine collettivo di materiali isolanti a base di fibre minerali. La composizione della lana di vetro: 65% sabbia quarzosa/vetro vecchio, 14% soda, 7% dolomite, 4% feldspato e 4% calcare. La lana di roccia è composta per il 97% da diabase, basalto e dolomite. La roccia viene fusa a una temperatura di circa 1.400°C e quindi filata in fibre minerali artificiali. Per ottenere una certa stabilità di forma dette fibre vengono miscelate con il

legante bakelite (resina fenolo-formaldeide) che solidifica a contatto con un flusso di aria calda. A seconda della stabilità meccanica necessaria, la percentuale di legante può variare tra il 3% e il 19% in peso per la lana di vetro e tra l'1% e il 4% in peso per la lana di roccia. In relazione a ciò possono verificarsi delle concentrazioni di formaldeide, che però dopo il montaggio risultano nettamente inferiori al valore indicativo di 0,1 ppm. Il legante conferisce la tipica colorazione gialla della lana di vetro, mentre la lana di roccia deve il suo colore verdastro al contenuto di ferro. Per coadiuvare la fusione viene impiegato il solfato di sodio. I pannelli isolanti per facciata vengono inoltre sottoposti ad un trattamento impermeabilizzante con delle sostanze idrofobizzanti a base di silicone o oli minerali (al massimo 1 %). Gli oli utilizzati legano anche le polveri di fibra.

Applicazione della lana di roccia: i materiali isolanti a base di fibra minerali vengono proposti per tutti i campi di applicazione, ad eccezione per le pareti a contatto con la terra e per l'isolamento dei tetti a struttura inversa.

Feltro autobloccante si blocca da solo tra gli elementi strutturali in legno.

Feltro termoisolante eventualmente accoppiato con un foglio di alluminio.

Pannelli fonoisolanti anticalpestio, per es. sotto i pavimenti continui flottanti.

Pannelli isolanti per facciata come elemento di un sistema compound termoisolante.

Quale strumento di taglio è preferibile usare una lama piuttosto che una sega. Se nel corso dei lavori venisse sprigionata della polvere, si consiglia di utilizzare una mascherina, occhiali e guanti protettivi. In caso di montaggio ermetico non è prevedibile alcun inquinamento dell'aria dell'ambiente.

Caratteristiche e proprietà della lana di roccia: le lane di vetro e di roccia presentano proprietà termoisolanti buone ($\lambda=0,035-0,04$ W/mK), una buona resistenza all'invecchiamento e una stabilità di forma esauriente se il materiale isolante è protetto contro l'umidità. La conduttività termica aumenta fortemente già con una leggera umidificazione. I materiali isolanti a base di fibre minerali devono pertanto essere protetti molto bene contro l'umidità. Le lane di vetro e di roccia sono permeabili al vapore ($\mu = 1-2$), resistenti ai parassiti e non putrescibili. Classe di infiammabilità 1, non infiammabile. In caso di incendio a partire dalla temperatura di circa 250°C il legante si volatilizza provocando un insaccamento dal materiale isolante.

Considerazioni sull'aspetto ecologico e sanitario della lana di roccia: le materie prime di natura minerale sono disponibili in quantità praticamente inesauribile. L'inquinamento ambientale provocato dalla relativa produzione riguarda soprattutto il consumo di energia necessario per la fusione delle sostanze minerali di partenza. Le polveri di fibra minerale artificiale sono oggetto di discussioni critiche a livello internazionale a causa del loro possibile potere cancerogeno. Sulla base delle conoscenze scientifiche attualmente disponibili non sembra tuttavia esserci alcun rischio per la salute umana, se le polveri di fibra presentano un sufficiente grado di biodegradabilità, e quindi una permanenza soltanto breve all'interno dall'organismo umano. Durante la lavorazione delle fibre minerali si può avvertire una sensazione di irritazione della pelle dovuta all'azione meccanica dalle polveri di fibra minerale. Nel caso in cui si produce una grande quantità di polvere si possono inoltre avvertire dei disturbi e delle sensazioni d'irritazione a carico delle vie respiratorie e degli occhi. Durante i lavori di ristrutturazione è possibile riutilizzare il materiale isolante se non è impregnato di umidità oppure imbrattato o contaminato. I materiali isolanti a base di fibre minerali presentano un'alta versatilità d'uso se resi stagni al vento e all'umidità, misura che per altro serve anche per arginare il rilascio di fibre fini.

SILICATO DI CALCIO



Fig.47. Silicato di calcio

Produzione del silicato di calcio: i pannelli a base di silicato di calcio vengono prodotti con sabbia quarzosa e calce e poi armati con cellulosa per renderli stabili. L'anidride silicica e l'ossido di calcio vengono fatti decantare in acqua e reagiscono formando uno stadio iniziale del silicato di calcio. Dopo la formazione i minuscoli cristalli di silicato di calcio vengono trattati in autoclave con vapore acqueo surriscaldato e pressione elevata fino ad ottenere la struttura aperta con pori fini (90% di pori fini). In questo modo si formano l'elevata assorbenza capillare e l'enorme

capacità di assorbimento di acqua nonché le proprietà termoisolanti. La presenza di una minima parte di cellulosa conferisce al pannello non solo una stabilità degli spigoli ma anche una buona flessibilità. Il materiale è leggero, presenta una certa stabilità di forma e può essere montato in maniera auto portante. Il silicato di calcio è leggermente alcalino (pH=10).

Applicazione del silicato di calcio: i campi di applicazione più frequenti sono il risanamento di muri umidi a causa della condensa, l'isolamento dall'interno e l'eliminazione di muffe. Il silicato di calcio viene applicato soprattutto nelle facciate soggette a tutela o in quelle molto strutturate che non consentono l'isolamento esterno o per l'isolamento termico di singole unità abitative in condomini a più piani.

Caratteristiche e proprietà del silicato di calcio: il silicato di calcio è molto aperto alla diffusione ($\mu=6$) e viene applicato senza barriera vapore. L'elevata porosità determina una grande capacità di accumulo dell'acqua e di trasporto capillare nonché delle proprietà termoisolanti accettabili ($\lambda =0,05-0,07$ W/mK). I pannelli a base di silicato di calcio garantiscono un clima dell'ambiente confortevole grazie alla regolazione attiva dell'umidità dell'aria e al contempo delle pareti più calde. I pannelli a base di silicato di calcio sono anti invecchianti, resistenti alla putrefazione, agli insetti e ai roditori e presentano una certa stabilità di forma. Grazie al loro valore pH 10 fungono da barriera contro le muffe. Possono essere tagliati senza alcun problema con segaccio, gattuccio o sega circolare manuale. Durante il taglio si consiglia di indossare una maschera antipolvere a causa della formazione di polveri. I pannelli a base di silicato di calcio vengono incollati con dei collanti speciali che garantiscono il collegamento capillare tra parete e pannello. Le cavità di dimensioni maggiori, per esempio in pareti non piane, vengono tamponate con granulato di silicato di calcio. I pannelli a base di silicato di calcio non sono infiammabili (classe di infiammabilità 1). Quando applicati all'interno degli ambienti, fare

attenzione che i pannelli di silicato di calcio vengano trattati in superficie solo con intonaco, colori o carta da parati aperti alla diffusione al fine di non inibire la capacità diffusiva e le proprietà di regolazione del clima.

Considerazioni sull'aspetto ecologico e sanitario: le materie prime di natura minerale sono disponibili in quantità praticamente inesauribile. Per la produzione di questo materiale isolante non vengono impiegati propellenti, additivi organici fibre minerali. L'inquinamento ambientale provocato dalla relativa produzione riguarda soprattutto il consumo di energia necessario per il processo in autoclave. Una gran parte dell'acqua necessaria per il processo produttivo viene condotta in un circuito chiuso. Il prodotto può essere riciclato solo parzialmente. Il Silicato di calcio è considerato una maceria edile e pertanto è possibile conferire in discarica i resti e gli scarti. I pannelli in silicato di calcio per le loro applicazioni speciali nell'isolamento degli interni e per il risanamento di zone umide sono una novità interessante e praticabile del settore dei materiali isolanti in cui sono consigliabili come prodotti per la bioarchitettura.

4.2. Isolanti organici sintetici

POLISTIRENE ESPANSO (EPS)



Fig.48. Poliestere espanso

Produzione del polistirene espanso (EPS): i componenti base del polistirolo espanso, benzolo ed etilene, vengono ricavati da petrolio e metano e da questi viene prodotto in diversi stadi lo stirene. Con l'aggiunta di pentano e di altre sostanze antinfiammabili lo stirene viene trasformato in polistirolo mediante polimerizzazione. Durante questo processo si verificano emissioni di idrocarburi e in questo contesto il pentano contribuisce alla formazione dell'ozono presente al livello del suolo. Quali sostanze anti infiammabili vengono addizionati alcuni composti di bromo. Il colore grigio dei pannelli a minore conduttività termica (e pertanto con migliore azione isolante) è dato dall'aggiunta di polvere di grafite.

Applicazione: sono possibili tutti i campi di applicazione:

Pannelli isolanti per facciate (EPS) come elemento di un sistema compound termoisolante: In caso di applicazione come cappotto utilizzare soltanto dei sistemi collaudati e omologati. Nel caso in cui i pannelli di polistirolo espanso non siano impiegati in strutture nuove composte da laterizi e mattoni

forati oppure da blocchi semipieni e cemento oltre ad essere incollati dovranno essere anche tassellati alla struttura portante, così come anche nel caso di spessori maggiori.

Isolamento dei tetti, pareti verticali, ponti termici di strutture in cls.

Caratteristiche e proprietà: il polistirolo espanso presenta delle proprietà termoisolanti molto buone ($\lambda = 0,035-0,040$ W/Mk). La resistenza alla diffusione del vapore acqueo μ raggiunge a seconda del prodotto valori tra 20 e 100. L'EPS è resistente ai morsi degli animali e non putrescibile. La durata in vita dei pannelli è un fattore determinante per i sistemi compound termoisolanti in EPS. Nei sistemi conformi alle norme e alle omologazioni vigenti dovrebbe essere più di 30 anni. Classe d'infiammabilità 1 (difficilmente infiammabile), tuttavia in caso di incendio si osserva una forte formazione di fumo denso.

Considerazioni sull'aspetto ecologico e sanitario: la produzione di materiale isolante a base di polistirolo è relativamente inquinante rispetto a quella dei materiali isolanti cosiddetti "naturali". Va però anche evidenziato che il bilancio energetico di un isolamento termico realizzato con polistirolo espanso risulta positivo già a distanza di 7-20 mesi, dato che dopo questo periodo si risparmia energia. Il polistirolo espanso viene riciclato in forma pura, circostanza rara nell'edilizia. In caso di smantellamento i sistemi compound termoisolanti devono essere separati in modo meccanico dallo strato di intonaco. Il taglio mediante filo caldo va operato all'aperto, in quanto potrebbe provocare uno sprigionamento di stirene e di altri prodotti di scomposizione. Dopo il montaggio il materiale non comporta alcun rischio per la salute umana. Il polistirolo espanso è economico, collaudato come materiale isolante di massa e consigliabile con qualche limitazione.

POLISTIRENE ESTRUSO (XPS)

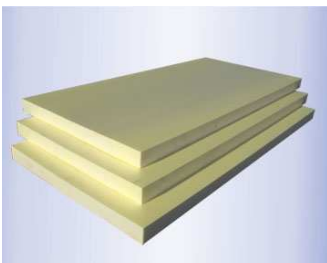


Fig.49. Poliestere estruso

Produzione del polistirene estruso: pannelli in espanso rigido di polistirolo vengono proposti per alcuni casi di applicazione speciali come polistirolo estruso (XPS). Come per la produzione del polistirolo espanso, lo stirene grezzo viene prodotto in diversi stadi dal petrolio. Il polistirolo liquido viene espanso (estruso) con propellenti e pressato attraverso degli ugelli a fessura larga formando delle lastre. Attualmente come propellente si utilizza la CO₂ sottratta dall'atmosfera o ricavata quale sottoprodotto da altri processi di fabbricazione.

Applicazione del polistirene estruso: il polistirene estruso viene utilizzato per applicazioni in ambiente umido e in caso di elevate sollecitazioni da compressione:

Pannelli per l'isolamento di tetti a struttura inversa (tetti in cui lo strato isolante si trova sopra quello di impermeabilizzazione):

Tetti con verde pensile, terrazze e pavimenti.

Pannelli per l'isolamento esterno contro terreno (isolamento perimetrale): I pannelli in polistirolo estruso in questa applicazione vengono incollati esternamente sull'impermeabilizzazione verticale. Come protezione e per favorire lo scarico dell'acqua si può applicare esternamente una membrana di drenaggio.

Caratteristiche e proprietà: il polistirene estruso presenta delle proprietà termoisolanti molto buone ($\lambda = 0,035-0,040$ W/mK), il livello di resistenza alla diffusione del vapore acqueo μ è tra 80 e 200. Grazie alla struttura espansa a cellula chiusa e alla pellicola di espansione sui due lati del pannello l'assorbimento d'acqua è estremamente ridotto. La resistenza alla compressione è elevata. Classe d'infiammabilità 1 (difficilmente infiammabile), tuttavia in caso di incendio si osserva una forte formazione di fumo denso.

Considerazioni sull'aspetto ecologico e sanitario: la produzione di materiale isolante a base di polistirolo è relativamente inquinante rispetto a quella dei materiali isolanti cosiddetti "naturali". Un grosso problema sotto l'aspetto ecologico è costituito dai propellenti a base di CFC ancora leciti fino al 1993 presenti nel polistirolo estruso già installato, Il propellente inglobato all'interno dei pori viene rilasciato lentamente (la metà del gas inglobato fuoriesce nel giro di 10 o 20 anni). Esistono metodi di riciclaggio di sostanze e prodotti chimici adatti anche per il polistirolo estruso, tuttavia al momento non si hanno informazioni su un riciclaggio specifico del polistirolo estruso di una certa rilevanza sotto il profilo quantitativo. Il vecchio XPS espanso con CFC deve essere smaltito a parte. Il taglio mediante filo caldo va operato all'aperto, in quanto potrebbe provocare uno sprigionamento di stirene e di altri prodotti di scomposizione.

POLIURETANO



Fig.50. Poliuretano

Produzione del poliuretano: I prodotti di partenza per la complessa catena del processo di questo materiale isolante sono i poliisocianati e gli alcoli polivalenti. Per ottenere determinate caratteristiche del prodotto vengono addizionati di volta in volta dei composti chimici differenti (per esempio delle sostanze per il trattamento antincendio). Tra le sostanze pericolose presenti nella linea di prodotto vi sono tra l'altro i poliisocianati MDII, che possono provocare reazioni allergiche. Anche l'uso del fosgene rappresenta un fattore di rischio, in quanto si tratta di un gas velenoso. Viene fatto massiccio uso di chimica legata al cloro.

Applicazione del poliuretano: i pannelli isolanti in PUR nell'edilizia vengono utilizzati principalmente per gli scopi specificati qui di seguito:

isolamento continuo sopra le travi portanti, tetti, pareti verticali

isolamento di caldaie, tubazioni e boiler.

Caratteristiche e proprietà del poliuretano: il poliuretano è un materiale espanso a cellula chiusa che vanta valori di isolamento eccellenti ($\lambda = 0,03 \text{ W/mK}$) In testa alla classifica vi è il poliuretano espanso rigido, stagno alla diffusione del gas, rivestito su entrambi i lati con una pellicola di alluminio dello spessore di $0,05 \text{ mm}^2$ un tessuto non tessuto minerale. Il materiale isolante a base di poliuretano espanso rigido è disponibile in diverse classi di infiammabilità. In caso di incendio, seconda la temperatura e l'ossigeno presente nell'aria, possono formarsi gas velenosi come i isocianati, acido prussico e diversi composti di fosforo. Come per la maggior parte dei materiali organici, la tossicità dei gas combusti viene comunque definita sulla base del monossido di carbonio.

Considerazioni sull'aspetto ecologico e sanitario del poliuretano: i prodotti di partenza utilizzati per la produzione del poliuretano derivano dal petrolio e da materie prime riproducibili (zucchero di barbabietola). I propellenti a base di CPC ancora leciti fino al 1993 costituiscono oggi un grosso problema sotto l'aspetto ecologico, in quanto il propellente inglobato all'interno dei pori fuoriesce lentamente. Si prevedono tempi di dimezzamento di circa 100 anni. Esistono già dei metodi di riciclaggio che però riguardano soltanto gli scarti puliti provenienti dalla produzione e dai cantieri. Dopo il montaggio non vi sono pericoli per la salute umana. Durante il taglio a formato è opportuno evitare di inalare le polveri, in modo da prevenire un'eventuale irritazione meccanica delle vie

respiratorie. Il poliuretano è un materiale isolante prodotto secondo un processo complesso che richiede un cospicuo dispendio di energia che varia a seconda del prodotto e che può essere da 10 a 40 volte superiore a quello necessario per la lana di pecora. L'eventuale esposizione a veleni e i relativi rischi si limitano esclusivamente alla fase di produzione.

4.3. Isolanti inorganici naturali

ARGILLA ESPANSA



Fig.51. Argilla espansa

Produzione dell'argilla espansa: l'argilla espansa è un materiale edilizio che si ottiene dalla cottura di sferette d'argilla in forni rotativi a 1200° C. L'argilla viene estratta da cave a cielo aperto e lasciata stagionare per parecchi mesi all'aperto; successivamente viene opportunamente sbriciolata e immessa in forni rotatori nei quali subisce un processo di espansione grazie alle sostanze naturali in essa contenute. La cottura sinterizza (vetrifica) la superficie delle sferette conferendo loro un'elevata resistenza alla pressione e contemporaneamente la sua struttura cellulare interna le conferisce leggerezza e un buon potere isolante.

E' utilizzato in forma sfusa all'interno di intercapedini, coperture, pavimenti, sottotetti non praticabili, nella produzione di calcestruzzi alleggeriti termo - fonoisolanti per solai interpiano o controterra, sottotetti praticabili, coperture piane e a falda inclinata, blocchi isolanti portanti e di tamponamento, pannelli, solai, lastre prefabbricate, caminetti.

Informazioni tecnico-descrittive: l'argilla espansa è un materiale isolante inalterabile nel tempo, anche in presenza di temperature e umidità estreme, è inattaccabile da parassiti e incombustibile (classe 0), per tale ragione viene utilizzato come materia prima per manufatti resistenti al fuoco o refrattari. La sua struttura cellulare e porosa contribuisce ad un buon assorbimento del rumore.

Osservazioni ambientali e precauzioni: la materia prima è abbondantemente disponibile in natura; le cave a cielo aperto, di solito in zona collinare, hanno un impatto ambientale sensibile anche se spesso vengono riconvertite a verde. Il processo produttivo richiede un grosso dispendio di energia; dal prodotto finito non si riscontrano emissioni. Non essendo combustibile non è possibile il riciclaggio per il recupero di energia. E' riciclabile come inerte per il cls.

PERLITE ESPANSA



Fig.52. Argilla espansa

Produzione della perlite espansa: La roccia perlitica vulcanica, denominata anche vetro naturale, viene frantumata ed esposta per breve tempo a temperature di circa 1000 °C. In seguito a questo processo l'acqua inglobata si trasforma in vapore facendo gonfiare il materiale ad un volume pari a 15-20 volte quello originario. Per l'applicazione in ambienti umidi viene operata una idrofobizzazione mediante silicone per chiudere il grano oppure un rivestimento con bitumi o resine naturali.

Applicazione della perlite espansa: la perlite espansa viene proposta come:

Isolante granulare leggero per l'isolamento non caricato di cavità, ad esempio come isolamento d'intercapedine, isolamento tra le travi portanti o isolamento di soffitti del piano più elevato. Le eventuali modifiche successive, per esempio rotture, in questo caso costituiscono un problema.

Isolante granulare caricabile sotto pavimento di cemento e isolante granulare altamente caricabile sotto pavimento a secco.

Isolante granulare di compensazione e di riempimento tra i legni d'imbottitura per l'isolamento termico dei pavimenti. La perlite espansa può essere utilizzata anche per la produzione di malte e intonaci termoisolanti.

Caratteristiche e proprietà della perlite espansa: le proprietà termoisolanti sono buone ($\lambda = 0,04-0,06$ W/mK). Il materiale è aperto alla diffusione ($\mu = 1-4$), non è putrescibile ed inoltre resiste bene ai parassiti e agli agenti chimici. In particolare va sottolineata la capacità di regolare l'umidità. Determinate qualità di perlite presentano delle buone proprietà acustiche (rumore da calpestio e rumore che si propaga con l'aria). La perlite espansa non è infiammabile (classe di infiammabilità 0).

Considerazioni sull'aspetto ecologico e sanitario della perlite espansa: la perlite vulcanica è ancora sufficientemente disponibile in molti giacimenti in tutto il mondo. Il dispendio di energia implicato dalla relativa produzione rientra nei livelli medi. Nella produzione non vengono impiegate sostanze pericolose per l'ambiente e la salute umana. Sono però inquinanti le fonti di energia fossile necessarie per l'espansione e il trasporto. Il materiale granulare sfuso può essere riapplicato. La perlite espansa può essere smaltita nelle discariche specifiche per scarti di materiale da costruzione. Durante la lavorazione è obbligatorio procedere con la massima cautela per evitare un eccessivo sviluppo di

polvere. È preferibile non utilizzare la perlite bitumata per isolare gli ambienti interni a causa del possibile inquinamento dell'aria da sostanze nocive.

VERMICULITE ESPANSA



Fig.53. Vermiculite espansa

Produzione della vermiculite espansa: la vermiculite è una roccia di origine vulcanica costituita da silicato di alluminio e magnesio idrato con tracce di ossido di ferro, ed è una variazione morfologica della mica. Il minerale grezzo viene frantumato, macinato e sottoposto ad elevate temperature (100°C) che provocano l'evaporazione dell'acqua in essa contenuta e l'espansione del granulo. Si ottiene così una struttura cellulare costituita da microcavità chiuse non comunicanti tra loro e con l'esterno, che ne determina l'impermeabilità all'acqua e il potere isolante. Si presenta sotto forma di granuli irregolari commercializzati in diverse granulometrie.

Applicazione della vermiculite espansa: viene applicata in forma sfusa in intercapedini di pareti perimetrali, coperture, sottotetti non praticabili, mentre impastata con acqua e legante idraulico è impiegata nella realizzazione di sottofondi e massetti in solai interpiano e controterra, coperture piane e inclinate. La vermiculite a granulometria fine viene impiegata come inerte per la realizzazione di intonaci termoisolanti, fonoassorbenti e resistenti al fuoco.

Informazioni tecnico-descrittive: le sue caratteristiche sono principalmente quelle di essere un materiale capace di regolare l'umidità, traspirante, con buone proprietà termoisolanti e fonoassorbenti, incombustibile, esente da impurità e privo di sostanze nocive per la salute, inerte, inattaccabile da parassiti ed insetti, stabile nel tempo.

Osservazioni ambientali e precauzioni: come tutti i minerali di origine vulcanica è a rischio di radioattività naturale. Il consumo di energia per il processo produttivo è di circa 200 KWh/m³. Il materiale sfuso è riutilizzabile unicamente come inerte per calcestruzzo

POMICE NATURALE



Fig.54. Pomice naturale

Produzione della pomice naturale: la pomice è una roccia vulcanica effusiva costituita da un silicato naturale complesso costituito da silice allo stato amorfo in cui sono disciolti ossidi di vari elementi. E' caratterizzata da una struttura alveolare con pori di grandezza variabile. E' uno dei più antichi materiali da costruzione noto ai romani e da loro impiegato per le costruzioni di templi e terme. E' un materiale dalle buone proprietà fonoassorbenti, traspirante, incombustibile, privo di sostanze tossiche per la salute, stabile nel tempo, inattaccabile da parassiti. Ha inoltre buone caratteristiche meccaniche poiché ha elevata resistenza a compressione e possiede un carattere pozzolanico latente, ossia ha proprietà idrauliche che aumentano la resistenza meccanica del calcestruzzo di pomice nel corso degli anni. La struttura alveolata le conferisce inoltre un'elevata elasticità, che si traduce in ottima lavorabilità meccanica e capacità di assorbimento acustico delle vibrazioni sonore. Può essere impiegata sia sfusa che miscelata come inerte nei calcestruzzi alleggeriti termo-fonoisolanti in solai interpiano o controterra, sottotetti praticabili e coperture. Trova impiego anche nel confezionamento di malte di posa che migliorano sensibilmente l'isolamento termico delle murature senza influenzare la resistenza meccanica. Grazie alla superficie ruvida dei granuli si possono ottenere intonaci ad elevata aderenza, termo-fonoisolanti e resistenti al fuoco.

Informazioni tecnico-descrittive: la pomice può presentare caratteristiche diverse nella sua composizione in funzione dall'ubicazione delle cave da cui viene estratta. La pomice di Lipari ad esempio contiene una percentuale di silice superiore al 70%, mentre quella proveniente da altri giacimenti può avere un contenuto di silice di circa il 50 - 65%. Il tenore di silice influisce notevolmente sulla qualità del silicato, aumentandone la durezza, la resistenza meccanica, la resistenza agli agenti chimici. Macinata per ottenere diverse granulometrie può essere trattata con sostanze idrofobe per renderla idrorepellente.

Osservazioni ambientali e precauzioni: Il consumo di energia durante il suo processo produttivo è ridotto. Il materiale sfuso è riutilizzabile unicamente come inerte per calcestruzzo. La pomice non pone problemi di scarti tossici sia nella fase di produzione che di quella di utilizzazione, inoltre i manufatti in cls (cls pomice/cemento), pesando meno rispetto a quelli realizzati in cls tradizionale a parità di resistenza meccanica, presentano una sensibile riduzione dei costi dovuta ai minor carichi e al minor costo di trasporto.

4.4. Isolanti organici naturali

SUGHERO



Fig.55. Sughero

Produzione del sughero: il sughero grezzo si ricava dalla corteccia della quercia da sughero coltivata principalmente in Portogallo, Spagna e Africa nord-occidentale. Il sughero granulato naturale viene ricavato dalla corteccia della quercia da sughero. Oggi i pannelli isolanti in sughero vengono prodotti esclusivamente in versione espansa pura, vale a dire senza aggiunta di altre sostanze. La corteccia di sughero viene macinata, il granulato così ottenuto viene poi cotto all'interno di appositi serbatoi a

pressione con vapore acqueo della temperatura di circa 370°C. Durante questo processo il sughero si espande da un 20% a un 30% e viene legato dalla propria resina.

Applicazione del sughero: il sughero viene proposto in varie forme:

Pannelli isolanti in sughero per l'isolamento acustico da calpestio.

Sughero granulato sfuso come riempimento termoisolante per esempio nelle intercapedini di murature.

Caratteristiche e proprietà del sughero: nel caso del presente materiale si osserva la combinazione di buone proprietà termoisolanti ($\lambda=0,04$ W/mK) con un'elevata capacità di accumulo del calore. Il sughero è in grado di accumulare una quantità di calore maggiore rispetto ad esempio al materiale isolante in fibre minerali. I pannelli isolanti in sughero sono relativamente insensibili all'umidità e in caso di influsso dell'umidità perdono poco del loro effetto isolante. Il coefficiente di resistenza alla diffusione del vapore acqueo μ per i pannelli in sughero agglutinati è ($\mu=8$) e per il sughero granulato è ($\mu=5$). Il sughero presenta una stabilità di forma e una permanente elasticità. È insensibile agli insetti e ai funghi. È opportuno rimuovere la polvere da sughero, soprattutto durante le operazioni di montaggio. La posa del sughero non comporta alcun problema. Il sughero presenta un grado di infiammabilità normale (classe 2), con vetro solubile diviene difficilmente infiammabile (classe 1)

Considerazioni sull'aspetto ecologico e sanitario del sughero: la quercia del sughero cresce nel bacino del Mediterraneo, in particolare in Portogallo. In futuro può aumentare la disponibilità, in quanto attualmente viene lavorata soltanto una parte delle risorse di sughero disponibili e le superfici di coltivazione vengono continuamente ampliate. La coltivazione della quercia da sughero è vantaggiosa sotto l'aspetto ecologico, in quanto favorisce anche l'esistenza della fauna e della flora locale. Il settore

dell'artigianato locale correlato assicura parecchi posti di lavoro. La scortecciatura viene operata circa ogni 10 anni ed è regolamentata dalle disposizioni di legge. I tragitti piuttosto lunghi vengono effettuati soprattutto mediante camion. Il dispendio di energia durante la produzione è molto ridotto. Il sughero espanso e quello granulato sviluppano spesso un odore molto forte.

FIBRE DI CELLULOSA



Fig.56. Fibre di cellulosa

Produzione della cellulosa: il materiale di partenza è costituito da carta di giornale cernita, in particolare merce resa. La suddetta carta viene scomposta in fibra attraverso un processo di strappo e macinatura a più stadi e miscelata con circa il 5-20% di sali di boro per ottenere una protezione contro gli attacchi di fuoco, i parassiti, i topi.

L'inquinamento provocato all'ambiente durante la produzione di questo materiale è estremamente ridotto in confronto a quello di altri materiali. In Canada e in Scandinavia i materiali isolanti a base di cellulosa sono in uso da oltre 70 anni.

Applicazione della cellulosa: il versamento di materiale sfuso aperto tra i legni di imbottitura per pavimenti o sopra gli ultimi solai, e insufflato con un ventilatore nelle cavità dei tetti dei soffitti, delle pareti di costruzioni in legno ecc. La cellulosa insufflata sotto pressione mediante dei macchinari particolari rende un isolamento stagno al vento e posizionato in modo preciso senza dispersioni. Con questa procedura d'insufflaggio si possono isolare senza fughe anche le cavità irregolari. A seconda dei tipi di cavità occorrono compressioni differenti per eliminare tutti gli spazi vuoti e per evitare cedimenti di assestamento: appoggio libero: circa 35 kg/m³ falda tetto, circa 45 kg/m³ pareti:

procedimento in umido per costruzioni in cui non è possibile l'insufflaggio a secco. La cellulosa viene mescolata con un 10% di acqua pura e la massa viene applicata per spruzzo aperto. Attenzione: La parete deve restare assolutamente aperta fino all'asciugatura completa.

pannelli isolanti in cellulosa con rinforzo in fibra di juta per la posa tra le travi portanti, nelle pareti divisorie e per l'isolamento esterno con facciate ventilate.

Caratteristiche e proprietà della cellulosa: le proprietà termoisolanti di questo materiale sono eccellenti quando viene trattato con procedura d'insufflaggio e procedura umida anche perché può essere lavorato senza fughe. Il coefficiente è pari a 0,04 W/mK. Le fibre cellulosa che favoriscono la diffusione del vapore, compensano l'umidità e assorbono bene il suono. Non è prevedibile un rilascio

nell'aria dell'ambiente di sostanze nocive provenienti dagli inchiostri di stampa. In caso di lavorazione a secco è inevitabile la formazione di polvere, per cui si consiglia di munirsi di mascherina parapolvere. La penetrazione delle fibre nell'aria dell'ambiente deve essere prevenuta mediante misure costruttive idonee (incollaggio della barriera vapore ecc.). Classe di infiammabilità 1 (difficilmente infiammabile) oppure 2 (infiammabilità normale).

Considerazioni sull'aspetto ecologico e sanitario della cellulosa: l'utilizzo di carta straccia mediante un processo di riciclaggio è molto opportuno da un punto di vista ecologico ed inoltre il dispendio di energia e l'inquinamento ambientale sono contenuti. Il materiale isolante a base di cellulosa può essere asportato mediante aspirazione nelle costruzioni. Non può essere posto in discarica in quanto nell'acqua d'infiltrazione della discarica il borato verrebbe dilavato in misura inammissibile. Nel caso di incenerimento ad alta temperatura i sali di boro vengono stabilizzati nella scorie. Si sconsiglia caldamente un montaggio fatto a secco con la procedura d'insuiflaggio o umida per i seguenti motivi: è necessaria una lunga esperienza per riuscire ad applicare il materiale in modo tale da evitare eventuali cedimenti da assestamento e l'inquinamento eccessivo per effetto delle fibre fini. Se il montaggio viene effettuato da un'impresa specializzata, tutte le persone che eseguono o assistono l'applicazione devono utilizzare una maschera parapolvere. Le barriere al vapore vanno incollate in modo accurato. Se lavorati correttamente, i materiali isolanti a base di cellulosa sono ecologici e particolarmente adatti da un punto di vista termotecnico.

FIBRA DI COCCO



Fig.57. Fibre di cocco

Produzione della fibra di cocco: la fibra di cocco si ricava dal mesocarpo, spesso strato fibroso che ricopre il guscio della noce di cocco; le fibre migliori, più lunghe e robuste, vengono utilizzate per la produzione di feltri per isolamento. La fibra di cocco ha buone proprietà di isolamento termico e ottime proprietà per l'isolamento acustico da calpestio. È un materiale permeabile al vapore, consentendo, se abbinata ad altri materiali permeabili, una corretta traspirazione della struttura; è un materiale a lenta combustione e la sua infiammabilità viene ridotta mediante trattamenti ignifuganti di

diverso tipo. Non teme l'umidità perché immarcescibile; è inattaccabile da parassiti e batteri ed inappetibile per i roditori; è estremamente resistente, elastica, inalterabile nel tempo.

Utilizzo ed applicazione della fibra di cocco: i feltri di fibra di cocco trovano applicazione principalmente come isolante acustico sotto pavimenti galleggianti e in pareti divisorie interne. Vengono inoltre utilizzati per l'isolamento termo-acustico di pareti, in intercapedini di strutture in legno, coperture ventilate, sottotetti. E' un materiale facile da posare e la sua struttura permette una perfetta aderenza tra i pannelli accostati uno all'altro, poiché le fibre si intersecano tra di loro costituendo un corpo unico; durante la posa non dà origine a pulviscolo, né ad esalazioni irritanti per la pelle o per le vie respiratorie.

Informazioni tecnico-descrittive della fibra di cocco: nel paese d'origine (India, Indonesia, Sri Lanka) le fibre, una volta separate dalla noce, sono sottoposte ad un processo di macerazione in acqua e fango per circa 6 mesi, per mezzo del quale subiscono la mineralizzazione che elimina le parti organiche putrescibili e le rende immarcescibili. Le fibre, essiccate, battute e ammassate in balle, vengono importate in Europa, dove avviene la pressatura con cui si riesce a dosare la quantità di fibra per superficie e con il quale si ottengono feltri di diversa densità, spessore e dimensione. Possono subire trattamento ignifugante con sali di boro, silicati di sodio o solfato d'ammonio. I feltri possono essere addizionati con lattice di gomma naturale su una o entrambe le facce, per renderle lisce e idrorepellenti. Vengono inoltre prodotti pannelli per isolamento termo-acustico realizzati accoppiando una lastra di fibra di cocco (due nel caso di pannello sandwich) ad un pannello di sughero espanso autocollato bruno.

Osservazioni ambientali e precauzioni sulla fibra di cocco: i lunghi trasporti necessari per importare in Europa il materiale incidono pesantemente sul consumo totale di energia e sul bilancio ecologico del materiale stesso. La fibra di cocco è riutilizzabile e, inoltre, riciclabile per altri utilizzi, quali la realizzazione di drenaggi per giardini pensili e terrazzi e come rinforzo per la stabilizzazione del terreno in posizioni di forte pendenza, offrendo ancoraggio alle radici del tappeto erboso. E' perfettamente integrabile al suolo.

CANAPA



Fig.58. Canapa

Produzione della canapa: la canapa è una delle piante coltivate locali più antiche. In tre mesi riesce a raggiungere un'altezza di quattro metri ed è considerata una pianta che esercita un'azione benefica a favore del terreno. La sostanze amare che contiene la rende particolarmente resistente ai parassiti e pertanto non è necessario utilizzare dei pesticidi o degli erbicidi. Per garantire una certa stabilità di forma alcuni prodotti vengono integrati con un 10-15% di fibre di supporto in poliestere. Si può aggiungere anche della lana di pecora per una percentuale dal 3% al 10%.

Applicazione della canapa: i materiali isolanti a base di canapa sono adatti praticamente a tutte le applicazioni comuni.

Pannelli isolanti per facciata come elemento di un sistema compound termoisolante per le facciate esterne.

Pannelli isolanti e tappetini isolanti per l'isolamento termico in pareti montanti, soffitti con travatura in legno, tetti e facciate sospese ventilate.

Materiale di tamponatura per il riempimento di cavità, corda di canapa per giunzioni di finestre e di porte.

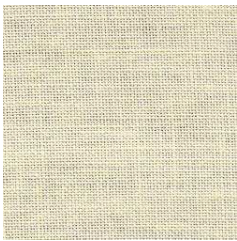
Pannelli fonoisolanti anti calpestio sotto il pavimento continuo flottante.

Frammenti di canapa sfusi come riempimento isolante tra i legni di imbottitura.

Caratteristiche e proprietà della canapa: la canapa è una pianta coltivata molto robusta e per niente delicata, ideale alle nostre latitudini anche per la coltivazione biologica. La fibra di canapa è estremamente resistente allo strappo e all'umidità, riesce ad assorbire umidità fino ad un terzo del proprio peso netto ed asciugarsi senza alcuna dispersione termica. Presenta inoltre una capacità di accumulo del calore migliore rispetto a quella di altri materiali isolanti a base di fibre minerali lana di vetro e di roccia. Secondo le indicazioni dei produttori, il prodotto essendo privo di proteine e contenendo delle sostanze amare presenta una certa resistenza contro la putrefazione, i parassiti, i roditori e la muffa. Le proprietà termoisolanti sono buone ($\lambda=0,040$ W/mK), la resistenza alla diffusione del vapore acqueo (μ è 1) . Con un trattamento impregnante a base di soda, fosfato di ammonio o di sali di boro si raggiunge una classe di infiammabilità 2.

Considerazioni sull'aspetto ecologico e sanitario della canapa: la canapa è una delle fibre vegetali più interessanti per il settore dell'edilizia. La coltivazione estensiva della canapa è ideale per l'agricoltura ecologica. Le sue buone caratteristiche consentono di utilizzare il prodotto aggiungendo poche sostanze del tutto innocue per la salute umana. Durante la lavorazione non fuoriescono delle fibre che penetrano fino ai polmoni. Solo l'aggiunta di fibre di poliestere relativizza un po' il bilancio ecologico positivo. Sarebbe pertanto più opportuno utilizzare dei tessuti di sostegno o incollare delle fibre non putrescibili. La canapa dopo essere stata smontata può essere riutilizzata. La canapa trattata con sali di ammonio può essere conferita al compostaggio, le fibre di poliestere però non si degradano e devono successivamente essere eliminate. I prodotti impregnati di sale di boro non sono adatti al compostaggio.

LINO



Produzione del lino: per la fabbricazione del materiale isolante si utilizzano le fibre corte del lino. Dopo la pulitura e la separazione in fibre singole si applicano diverse procedure per impedire l'insaccamento del materiale isolante: si può integrare il prodotto fino ad un 20% con delle fibre di supporto composte da fibre tessili di poliestere oppure incollare le fibre con fecola di patate, Per rendere il prodotto resistente al fuoco e ai parassiti vi vengono addizionati dei composti la cui

Fig.59. Lino

percentuale varia a seconda del produttore e possono essere al massimo un 10% di composti di bromo o un 1 % di fosfato di ammonio.

Applicazione del lino: il lino può essere applicato ovunque non vi sia una sollecitazione statica elevata: Feltro termoisolante per isolamento termico e acustico in tetti, soffitti con travatura in legno, pareti di montanti e tra travi, travetti . I feltri isolanti arrotolabili possono essere fabbricati solo con fibre di sostegno in poliestere.

Pannelli isolanti per l'isolamento termico e acustico e per soffitti acustici.

Materiale di tamponatura per l'isolamento da calpestio e per la tamponatura di giunzioni e cavità, per esempio nei telai per finestre e porte. Il lino da tamponatura è un'alternativa alle schiume di montaggio.

Caratteristiche e proprietà del lino: le fibre di lino presentano buone proprietà termoisolanti ($\lambda=004\text{W/mK}$). Il coefficiente di resistenza alla diffusione del vapore acqueo μ è 1. Le fibre sono molto resistenti alla trazione e estensibili. Il lino può assorbire umidità senza subire alcun danneggiamento. Le fibre sono composte da cellulosa e non contengono proteine animali, pertanto sono resistenti alle

tarme e alla muffa. La cera protettiva del lino resta sulle fibre. La posa del lino non comporta alcun problema, dato che può essere facilmente tagliato con un coltello elettrico o con una sega circolare, I materiali isolanti in lino vengono incastrati tra portanti e travi in legno e non devono essere graffettati. Classe di infiammabilità 2, infiammabile normalmente

Considerazioni sull'aspetto ecologico e sanitario del lino: il lino rientra tra le materie prime locali, rinnovabili. La coltivazione del lino è sensata da un punto di vista ecologico in quanto il lino è una pianta adatta per la rotazione delle colture e non necessita di alcun concime artificiale, Mentre le fibre lunghe vengono utilizzate per la fabbricazione di tele di lino, le fibre corte sono ideali per la produzione di materiale isolante, I produttori hanno dichiarato la propria disponibilità a ritirare il loro materiale per riutilizzarlo per la produzione di nuovo materiale isolante. Il materiale isolante in lino trattato con sali di ammonio può essere conferito al compostaggio anche se le fibre in poliestere non si decompongono. I prodotti impregnati di sale di boro non sono adatti al compostaggio, in quanto provocherebbero lisciviazioni inammissibili. Il lino è un prodotto alternativo interessante nell'ambito dei materiali isolanti, anche se l'elevato contenuto di fibre plastiche di sostegno di determinati prodotti finiscono per relativizzare la denominazione di materiali isolanti naturali.

COTONE



Fig.60. Cotone

Produzione del cotone: il cotone è una fibra lunga e sottile (da 1 a 6 centimetri), lucida e morbida al tatto, che ricava dalla fitta peluria che avvolge i semi di una pianta appartenente alla famiglia delle Malvacee. Originaria dei Paesi tropicali, la pianta del cotone è coltivata in una vasta zona del globo: dal 40° di latitudine nord al 40° di latitudine sud. In altre parole, nella fascia compresa tra la Sicilia e il Sud Africa. La pianta del cotone può avere vita annuale o pluriennale e può essere: erbacea (la cui altezza varia dai 50 ai 150 centimetri circa) o legnosa (che si sviluppa tra i 2 e i 5 metri). Le specie più diffuse e coltivate sono le erbacee a coltura annuale.

A seconda dell'origine si riscontrano notevoli differenze nei caratteri esterni del cotone: colore varia dal quasi bianco (varietà americane) al giallastro (varietà egiziane) fino bruno-rossastro. La raccolta, che si compie entro 7-10 giorni dall'apertura delle capsule, può essere fatta a mano o con macchine. La raccolta manuale, più lunga e costosa, è ancora oggi la più adottata per i cotoni di alto pregio, in quanto solo raccogliendo a mano è possibile operare una selezione del prodotto, evitando di mescolare fiocchi maturi e immaturi (che causano un notevole deprezzamento di tutto il prodotto) e materie estranee

(frammenti di foglie, di capsule, di steli, terriccio). Con la raccolta manuale si possono avere problemi di fibrille estranee. La raccolta dei cotone pregiati viene portata a termine in tre riprese, seguendo la fioritura del cotone che comincia nella parte bassa della pianta e procede fino alla maturazione delle capsule, in modo scalare: la prima fase interessa i fiocchi dei rami bassi (i più pregiati), la seconda quella dei rami mediani, la terza quella dei rami apicali. La raccolta meccanica (una raccogliatrice meccanica fa il lavoro di 25 operai) logora maggiormente la fibra perché la tratta in modo più grossolano ed energico; d'altro canto il cotone ha meno possibilità di essere inquinato dalle fibre estranee (un esempio di raccolta meccanica è il cotone americano, un cotone a fibra lunga adatto alla camiceria, tra i meno inquinati al mondo), perché il contatto umano è minimo e quindi minore è la possibilità che stracci, indumenti o altro materiale usato *dall'uomo* possano mescolarsi alla materia prima stessa.

PAGLIA

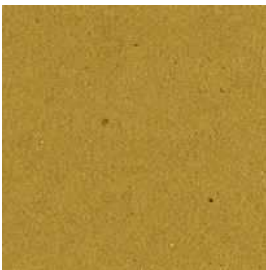


Fig.61. Paglia

Produzione della paglia: la paglia trova impiego nel settore delle costruzioni nella tecnica che fa uso della terra cruda o come materiale termoisolante. Le sue ottime proprietà termoisolanti e la sua ecologicità hanno però spinto verso una sperimentazione in edilizia che la vede impiegata per la realizzazione di muri portanti o di tamponamento. Alcune sperimentazioni sono state condotte in Europa soprattutto in Olanda con il tentativo di inserire un materiale totalmente ecologico e rigenerabile per la realizzazione di intere abitazioni.

PANNELLI IN FIBRA DI LEGNO



Fig.62. Fibra di legno

Produzione di pannelli isolanti in fibra di legno: I pannelli isolanti del suddetto tipo vengono realizzati con legno di abete rosso o di pino. La materia prima è costituita da residui di segheria, legni deboli ecc. Il legno viene frantumato e quindi scomposto in fibre di legno fini mediante procedimenti termici e meccanici. Dette fibre di legno fini conferiscono al pannello la sua stabilità tipica attraverso l'intreccio e l'infeltrimento subito durante la pressatura. Le resine naturali proprie del legno vengono sprigionate per scomposizione con l'aggiunta di allume conferendo al pannello dopo l'essiccazione la stabilità necessaria senza dover aggiungere altri leganti. Per rendere i pannelli resistenti all'umidità vengono addizionati a seconda dell'uso per cui sono destinati alcune sostanze

idrofobizzanti (lattice, cera e un surrogato di bitume a base di resina naturale). L'acqua di processo necessaria per la pressatura può essere condotta all'interno del circuito della fabbrica.

Applicazione dei pannelli isolanti in fibra di legno: i pannelli in fibra di legno vengono proposti in vari spessori, per applicazioni nella sezione interna o esterna dell'edificio:

Pannelli isolanti per tetto idrofobizzati utilizzati come sottotetto sostituiscono il tavolato e il sottostrato protettivo. Vantaggi: aperti alla diffusione, possibilità di isolamento pieno tra le travi portanti, azione isolante aggiuntiva, posa rapida.

Pannelli per l'isolamento continuo sopra le travi portanti.

Pannelli isolanti per l'isolamento tra le travi portanti del tetto, nelle pareti montanti e soffitti a travi di legno nonché per facciate sospese e pareti intermedie.

Pannelli isolanti per facciata come elemento di un sistema compound termoisolante.

Elementi finiti per pavimenti a secco e per applicazione sotto pavimento per insonorizzazione anti calpestio.

Pannelli isolanti speciali per pareti divisorie e fonoisolanti leggere.

Caratteristiche e proprietà dei pannelli isolanti in fibra di legno: il pannello in fibra di legno è permeabile al vapore acqueo e consente un tipo di costruzione a diffusione aperta ($\mu = 5$). L'effetto termoisolante è buono ($\lambda = 0,04$ W/mK), e per di più rispetto ad altri materiali isolanti risulta una maggiore capacità di accumulo del calore e proprietà fonoisolanti apprezzabili. La capacità di accumulo del calore dei pannelli è importante soprattutto a livello di sottotetto dato che consente di ottenere un buon sfasamento nonché smorzamento dei picchi termici. Nelle sezioni ad alto rischio di umidità vanno previsti pannelli idrofobizzati preferibilmente con aggiunta di resina naturale. Classe di infiammabilità 2, infiammabile normalmente.

Considerazioni sull'aspetto ecologico e sanitario dei pannelli isolanti in fibra di legno: le materie prime sono inesauribili e pertanto disponibili in misura praticamente illimitata per il relativo utilizzo. Il consumo di energia durante la produzione è relativamente alto. L'inquinamento ambientale per effetto delle acque sporche scaricate durante la produzione viene ridotto al minimo attraverso la circolazione in circuiti chiusi. I resti dei pannelli isolanti in fibra di legno possono essere lavorati per produrre nuovi materiali isolanti oppure designati al compostaggio. Questo materiale isolante è sostanzialmente conforme ai requisiti richiesti per un prodotto ecologico e rappresenta pertanto un'alternativa valida.

LEGNO MINERALIZZATO



Fig.63. Legno mineralizzato

Caratteristiche del legno mineralizzato: si tratta di prodotti ottenuti mediante un impasto di lana o fibre di legno con magnesite o cemento e additivi mineralizzanti e ignifuganti. In alcuni casi le fibre, ricavate generalmente da abeti, vengono trattate chimicamente e rese inerti e poi miscelate con l'agente mineralizzante (cemento Portland, magnesite, ecc..). La conduttività termica varia solitamente da 0,06 a 0,08 W/mK. Il materiale, in base al tipo di agente mineralizzante può essere altamente resistente al fuoco e non sviluppare né fumi né gas tossici in caso di incendio. Solitamente si ha anche una buona resistenza al gelo. Pur trattandosi di un isolante e non di un materiale strutturale, le caratteristiche

meccaniche sono molto interessanti. Il pannello intatto si deforma solo sotto carichi di notevole entità e, in alcuni casi ha una buona resistenza a flessione.

Utilizzo ed impieghi del legno mineralizzato: i pannelli, di spessori variabili, possono venire impiegati come casseri a perdere, come controsoffittature, o come isolante di copertura, ecc.. Grazie alla densità considerevole ed alla elevata capacità termica, conferiscono una maggiore inerzia termica alle strutture su cui vengono applicati. Il loro utilizzo risulta pertanto interessante anche per quanto riguarda la protezione termica estiva. I pannelli in fibra di legno-cemento rappresentano un buon supporto per l'intonaco. Con lo stesso impasto che utilizzato per la fabbricazione dei pannelli vengono prodotti anche blocchi cassero con i quali è possibile la costruzione di murature portanti (da armarsi con ferri).

LANA DI PECORA



Fig.64. Lana di pecora

Produzione della lana di pecora: la disponibilità a livello mondiale di ovini da lana ammonta a circa 1,2 miliardi di capi. Ogni pecora rende da 2,5 a 5kg di lana all'anno. La lana tosata dall'animale vivente viene lavata con sapone di Marsiglia e soda per rimuovere il grasso di lana in eccesso e le eventuali impurità. La lana può quindi essere trattata con sostanze protettive contro gli attacchi di tarme e coleotteri e antinfiammabili il procedimento di aghettatura per la formazione del feltro viene operato meccanicamente senza uso di

leganti. Alcuni prodotti vengono lavorati su una griglia a base di poliammide o provviste di fibre di supporto.

Applicazione della lana di pecora: le lane di pecora vengono proposte sotto forma di feltro isolante, tappetini, pannelli acustici anti calpestio e lana di tamponatura. La lana non può essere applicata in zone ad alta sollecitazione statica. tappetini per l'isolamento tra travi portanti e nelle pareti interne ed esterne di costruzioni a montanti in legno come pure per l'isolamento di pareti esterne dietro a tavolato in legno (facciate sospese) e tra i legni di imbottitura nei pavimenti. Il materiale isolante a base di lana di pecora è particolarmente idoneo per le costruzioni in legno in quanto si adegua al suo lavoro ed è in grado di assorbire umidità fino ad un terzo del proprio peso senza perdere praticamente l'azione isolante. I rotoli possono essere forniti in diverse larghezze a seconda della costruzione in cui vanno inseriti, il taglio può essere operato con un semplice paio di forbici oppure con un'apparecchiatura di taglio speciale fornita dal produttore. Il fissaggio viene operato principalmente a più strati mediante graffette.

Caratteristiche e proprietà della lana di pecora: buone proprietà sia ermoisolanti che fonoisolanti ($\lambda=0,04-0,045\text{W/mK}$). Il coefficiente di resistenza alla diffusione del vapore acqueo μ è 1-2. Recenti studi hanno dimostrato che la lana di pecora oltre all'umidità dell'aria può assorbire e neutralizzare fino ad un certo grado anche le sostanze nocive presenti nell'aria. La lana di pecora è permeabile al vapore acqueo ed è in grado di resistere all'umidità per breve tempo, però deve essere protetta contro le tarme con un sistema adeguato a rendere le fibre indigeribili per questi insetti. La lavorazione è agevole in quanto si tratta di un prodotto inodore e che solleva pochissima polvere, in confronto ad altre fibre naturali, i materiali isolanti a base di lana di pecora presentano un punto d'infiammabilità piuttosto elevato. Classe di infiammabilità 2 (normale).

Considerazioni sull'aspetto ecologico e sanitario della lana di pecora: l'allevamento ovino estensivo contribuisce alla conservazione del paesaggio culturale e culturale. Nelle regioni europee la lana di pecora è un sottoprodotto dell'allevamento di pecore madri e appare opportuno trasformare la lana in eccedenza in un prodotto a lunga durata. Il dispendio di energia per la produzione dei materiali isolanti a base di lana di pecora è in proporzione piuttosto basso. Le condizioni di produzione possono essere giudicate positive, mentre l'uso di pesticidi può creare qualche problema nel caso dei grandi allevamenti per esempio in Nuova Zelanda. La lana di pecora può essere riutilizzata anche se all'occorrenza potrebbe essere necessario rinnovare l'impermeabilizzazione. Alcuni produttori addirittura la ritirano per trasformarla in lana da tamponatura o pannelli isolanti. Il compostaggio è possibile entro poche settimane. A questo scopo deve essere rimossa la griglia a base di poliammide

eventualmente presente. I prodotti impregnati con sale di boro non sono adatti al compostaggio, in quanto provocherebbero delle lisciviazioni inammissibili. A differenza delle fibre vegetali la lana di pecora deve essere trattata contro i parassiti, ma una volta montato il materiale non crea alcun problema.

ORIGINE	Materiale isolante	Conducibilità Termica Λ in W/mK	Capacità termica specifica C in KJ/KgK	Resistenza alla diffusione del vapore acqueo μ	Spessore materiale isolante di confronto (1) in cm	Disponibilità materie prime	Possibili applicazioni
ORGANICI NATURALI	FIBRA DI LEGNO	0.038-0.040	2.10	3.0-10	9.5-10	Rinnovabile, abbondante	FE, TT, II, PS, CE, S, I, PE, AC, PI
	SUGHERO	0.038-0.050	1.90	5.0-10	9.5-12.5	Rinnovabile, limitata	FE, TT, II, PS, CE, S, I, PE, AC, PI
	FIBRA DI CELLULOSA	0.038-0.042	1.90	1.0-2	9.5-10.5	Prodotto da riciclaggio	TT, II, CE, PE, PI, AC
	FIBRA DI CANAPA, LINO	0.038-0.042	1.7	1.0-2	9.5-10.5	Rinnovabile, abbondante	TT, II, CE, PE, AC
	FIBRA DI COCCO	0.044-0.049	1.45	1.0-2	11-12.2	Rinnovabile, abbondante	TT, II, CE, PE, AC, TB
	LANA DI PECORA	0.040-0.043	1.70	1.0-2	10-10.7	Rinnovabile, abbondante	TT, II, CE, PE, AC,
INORGANICI NATURALI E SINTETICI	VERMICULITE, PERLITE ESPANSA	0.047-0.070	0.90	5.0-8	11.7-17.5	Non rinnovabile, abbondante	PS, CE, PE,
	LANA DI VETRO, LANA DI ROCCIA	0.04	0.80	1.0-5.0	10	Non rinnovabile, abbondante	FE, TT, II, PS, CE, SI, PE, TB, AC, PI
	VETRO CELLULARE	0.040-0.050	0.80	Stagno al vapore	10-12.5	Non rinnovabile, abbondante	FE, TT, II, PS, CE, SI, PE, TB, AC, PI
	POLISTIRENE ESPANSO (EPS)	0.031-0.038	1.40	20-80	7.7-9.5	Non rinnovabile, limitata	FE, TT, II, PE, CE, SI, PE, TB, AC, PI
	POLISTIRENE ESTRUSO (XPS)	0.035-0.038	1.40	100-300	8.7-9.5	Non rinnovabile, limitata	FE, TT, II, SE, PS, CE, SI, PE, PI
	POLIUTETANO	0.025-0.032	1.20	30-100	6.2-8	Non rinnovabile, limitata	FE, TT, PS, CE, SI, PE, TB, AC, PI

FE Facciata esterna; TT Tetto; II Isolamento interno; SE parete scatinato esterna; PS pavimento scatinato; CE Isolamento d'intercapedine parete esterna; SI parete scatinato interna; PE soffitto piano più elevato; TB Isolamento tubazioni; AC isolamento acustico anticalpestio; PI Soffitto piano inferiore

Tab.11. Tipi di isolante

Capitolo quinto

5. LATERIZI

I laterizi sono prodotti ceramici a pasta porosa impiegati nella costruzione degli edifici e comprendono i mattoni pieni e forati, i quadri e le esagonette da pavimentazione e da rivestimento, le tavelle da solaio, i coppi e le tegole per la copertura dei fabbricati, gli elementi sagomati a cornice o ornati con decorazioni ricavate a stampo oppure plasmate a mano. Questi manufatti appartengono alla vasta categoria delle terracotte e sono ricavati dall'argilla lavorata in diverse fasi fino ad ottenere una pasta modellabile con cui si foggiano i pezzi di forma e dimensione prestabilite, quasi sempre costanti; l'operazione finale di cottura a calore limitato (800° - 1200°) trasforma l'argilla plastica in una massa non eccessivamente dura, aggregata e porosa. A differenza degli altri prodotti ceramici detti a pasta compatta, ricavati con temperature di cottura comprese tra 1200° e 1500° che producono materiali di elevata durezza e una vetrificazione più spinta (gres, clinker, porcellana) il laterizio ha una struttura a grana ruvida di aspetto opaco facilmente lavorabile con la lima e in grado di assorbire acqua per capillarità.

5.1. Genesi e classificazione delle argille

I sistemi di classificazione della materia sono complessi per la grande varietà di argille che si rivengono in natura; le diverse categorie si basano generalmente sui caratteri e sulle proprietà fisiche e sull'origine geologica della roccia.

Le argille sono rocce sedimentarie clastiche e derivano dalla lenta alterazione di rocce cristalline silico-alluminose ad opera degli agenti atmosferici; la variabile composizione della roccia madre e i diversi processi di disgregazione chimica e meccanica producono le innumerevoli varietà di argille presenti in natura determinando differenze di composizione non solo tra giacimenti distanti, ma anche tra materiali prelevati da diversi punti di un medesimo deposito. Si vengono a formare dei legami interni argillosi che appartengono al gruppo dei silicati e si formano in seguito a un processo, definito caolinizzazione, di alterazione chimica di altri silicati detti feldspati. Il termine deriva dalla caolinite, uno dei più importanti minerali argillosi. L'acqua piovana asporta dalla struttura dei feldspati gli atomi di sodio (Na), potassio (K), calcio (Ca) per sostituirli con ossidrili (OH), errendo la massa plastica, atta cioè ad essere facilmente plasmata e modellata. Ciò determina la formazione di nuovi minerali definiti 'silicati idrati di alluminio' allo stato colloidale con quantità variabili di altri componenti, diversi dai minerali di partenza. Essi hanno una forma che gli permette di classificarsi tra i fillosilicati, composti da silice (SiO_2), alluminio (Al_2O_3) e ossidrili (OH).

Componenti argilla	Quantità	Percentuale
SiO ₂	40	50%
Al ₂ O ₃	25	40%
Fe ₂ O ₃	0.5	2.5%
MgO	1	1.1%
CaO	1	2%
Na ₂ O+H ₂ O	2	3%

Tab.12. Argilla comune

Oltre ai minerali argillosi è quasi sempre presente uno scheletro sabbioso fine, distribuito uniformemente nella massa e formato da quarzo, mica, feldspato; questi minerali sono accompagnati da impurità quali: carbonato, sotto forma di scheletri e frammenti di conchiglie di animali fossili; ossidi del ferro, in frammenti fini o grossolani e di natura variabile da argilla ad argilla che conferiscono al prodotto, dopo la cottura, la tipica colorazione rossastra; quantità di sabbie, che impoveriscono la plasticità e la finezza; gesso e solfuri di ferro. Queste sostanze estranee diminuiscono la resistenza del laterizio cotto; in particolare i noduli calcarei, trasformati dalla cottura in passerelle di ossido di calce, si dilatano per idratazione e provocano la rottura o la disgregazione del mattone. Anche i solfati e i solfuri, se non eliminati da una prolungata stagionatura dell'argilla, danno luogo in presenza di umidità alla formazione di efflorescenze sulla superficie del laterizio accompagnate da una progressiva disgregazione e dal distacco delle malte usate nella costruzione. Occorre pertanto che dette percentuali di impurità siano valutate e corrette in funzione sia del tipo di prodotto da ottenere, sia del grado di plasticità richiesto dalle varie lavorazioni.

Il laterizio comune viene fabbricato con la terra grassa argillosa; il materiale si ricava soprattutto dai depositi alluvionali presenti lungo il tratto medio e terminale dei torrenti e dei fiumi che scorrono nelle aree di valle e di pianura o proviene dai sedimenti fini collegati ad una antica attività fluviale attualmente scomparsa. Questi terreni sono sempre di recente formazione e i maggiori giacimenti sono situati al centro delle grandi pianure (pianura padana, pianura veneta, Valdarno inferiore ecc.). I materiali migliori si rinvencono sia nelle aree situate ai margini delle acque correnti e nelle zone di periodico alluvionamento, dove i sedimenti possono decantare, sia all'interno dei tratti terminali degli alvei fluviali dove la scarsa energia di trasporto permette la sedimentazione delle particelle fini e

finissime; in queste zone all'argilla si associa un discreto contenuto di sabbia sottile che produce una pasta omogenea di colore grigio o bruno mediamente plastica con poche impurità grossolane e in grado di assorbire facilmente l'acqua.

Tipi di argille:

- Argille grasse: sono ricche di minerali argillosi e si presentano plastiche, untuose al tatto, poco abrasive per la scarsa presenza di silice e in grado di assorbire fino al 70% del proprio peso. Assorbono molta acqua producendo una forte contrazione dei laterizi durante le operazioni di essiccamento e di cottura. Per l'imitare tra il 5% e il 15% il ritiro delle dimensioni lineari si aggiungono sostanze antiplastiche e dimagranti, mescolando a queste argille un certo quantitativo di argille magre fino ad ottenere una miscela di buona plasticità. Un altro metodo prevede l'impasto delle argille grasse con sabbia silicea a grana fine oppure polveri calcaree ricavate per frantumazione o per vagliatura dei depositi naturali;
- Argille magre: sono poco plastiche e meno plasmabili per la maggiore quantità di silice contenuta che conferisce all'argilla un aspetto sabbioso e una struttura facilmente friabile; al tatto danno una sensazione ruvida e possono assorbire acqua senza disgregarsi solo in proporzioni limitate;
- Argille caolini che: si trovano nei sedimenti marini e formano ampie porzioni dei rilievi collinari e montani; si presentano sia a grana compatta e frattura scheggiata, sia come ammassi friabili e polverosi, ma il materiale è sempre riducibile in una pasta meno plastica se imbevuto d'acqua. Il colore è variabile da grigio a nero con tonalità azzurre date dal solfuro di ferro (pirite) finemente diffuso nella massa e con zone a tinta gialla, rossa o verde dovute a concentrazioni di ossido di ferro e di manganese. Oltre ai resti fossili di organismi marini, si possono trovare intercalati all'argilla dei livelli sabbiosi, calcarei e arenacei oppure frammenti sparsi di rocce eterogenee;
- Argille refrattarie: la caratteristica primaria è quella di resistere alle alte temperature, ma anche a sbalzi termici, tensioni e aggressioni da parte di agenti solidi, liquidi e gassosi.

5.2. Requisiti tecnici dell'argilla

L'argilla deve possedere risposdenze operative tali da giustificarne l'uso. Ogni scelta progettuale, quindi, è legata alla perfetta conoscenza delle sue caratteristiche.

Le diverse argille si possono estrarre e lavorare secondo particolari direzioni e si presentano a essere impiegate con differenti funzioni; alcune sono più adatte alle strutture portanti degli edifici, altre agli elementi decorativi. Le possibilità di lavorazione delle argille e le loro caratteristiche tecniche, dipendono esclusivamente dai caratteri naturali, vale a dire dalla composizione chimica e mineralogica e dalle caratteristiche fisiche.

Proprietà tecniche dell'argilla:

PERMEABILITA': proprietà fondamentale dell'argilla. Essa consiste nella capacità di assumere una determinata forma, in seguito a una pressione, e di mantenere tale forma anche quando la pressione viene cessata.

La plasticità aumenta con l'invecchiamento una sorta di maturazione ottenuta ponendo l'argilla fresca in acqua per alcuni mesi e rimestandola. L'invecchiamento ed il rimescolamento permettono all'acqua di penetrare sempre più all'interno del materiale argilloso, frammentando in particelle sempre più piccole gli aggregati di cristalli dei minerali delle argille, idratandoli in modo più completo.

Durante l'invecchiamento la plasticità migliora anche grazie alle sostanze di rifiuto colloidali prodotte da piccoli microorganismi animali, detti infusori, che vivono negli strati superficiali delle argille umide. La plasticità viene "misurata" attraverso la determinazione del limite di plasticità e del limite di liquidità o di fluidità.

Tali limiti, detti anche di Atterberg, sono i valori del contenuto d'acqua che identificano il passaggio da uno stato semisolido ad uno stato plastico e da uno stato plastico ad uno stato 'fluido'.

Il *limite di plasticità*, wP , è quel valore limite del contenuto d'acqua al di sopra del quale il materiale diventa plastico, cioè formabile in presenza di acqua. Il *limite di liquidità*, wL , è quel valore del contenuto d'acqua al di sopra del quale il materiale perde la sua formabilità perché troppo fluido. Esso viene misurato convenzionalmente mediante la coppetta di Casagrande.

$$\text{Indice di Plasticità: } IP = wL - wP,$$

Al crescere dell'Indice di Plasticità cresce la variazione del contenuto d'acqua necessaria per portare un'argilla dallo stato semisolido allo stato fluido.

L'indice di plasticità, è funzione:

della granulometria, cresce al crescere della percentuale di particelle fini (superficie specifica),

della mineralogia, da cui dipende l'attività delle particelle, cioè la capacità di combinarsi con l'acqua. Tra i minerali più attivi si citano le montmorilloniti, tra quelli meno attivi le caoliniti; una attività intermedia presentano le illiti.

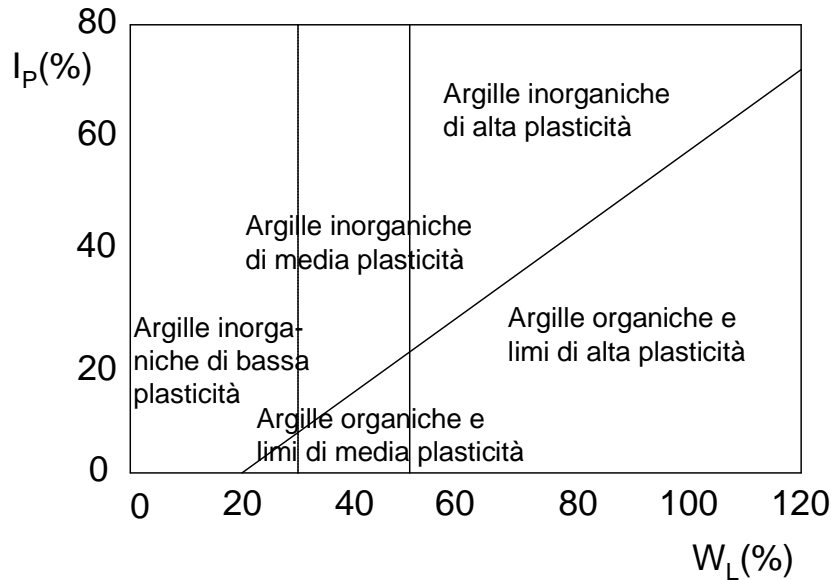


Grafico.2. Carta di Casagrande

La plasticità dei terreni, è rappresentata attraverso la Carta di Casagrande, dove sono riportati in ascisse, il limite di liquidità ed in ordinate, l'Indice di plasticità. Tale carta consente di classificare i terreni in funzione:

- della plasticità (bassa $w_L < 30\%$, media w_L fra il 30 ed il 50% ed alta, $w_L > 50\%$);
- della granulometria (limi ed argille);
- del contenuto in sostanze organiche (che abbassa la plasticità);

REFRATTARIETA': possibilità di resistere a temperature elevate (959° - 1100°) senza deformarsi;

BASSA CONDUCIBILITA': ossia i tempi di accumulo e di restituzione al calore. Tale grado può essere ulteriormente alzato con aggiunta di altri componenti ricchi di silice; la conducibilità può invece essere abbassata con aggiunta di calcite e plagioclasti:

RESISTENZA MECCANICA: l'argilla essiccata ha una buona resistenza meccanica, dovuta al fatto che i minerali sono di dimensioni ridottissime e i legami intercrystallini sono molti, dato il forte sviluppo delle superfici dei cristalli stessi, in rapporto al volume di argilla;

POROSITA': La porosità è la misura degli spazi vuoti del suolo e la capacità idrica di un suolo. La porosità del suolo è causata dalla forma più o meno arrotondata delle particelle, dalla loro aggregazione, dall'intrappolamento di gas, dall'azione delle radici, dagli insetti, dai lombrichi e di altri animali. I pori trattengono i liquidi e i gas e consentono il loro movimento e l'espandersi delle radici; al loro interno si svolge la vita di molti microrganismi e l'assunzione di nutrienti da parte delle piante.

I macropori consentono i movimenti dell'acqua gravitazionale: è quindi la loro quantità che determina il contenuto di acqua del suolo alla capacità di campo. I micropori (soprattutto quelli $< 9 \mu\text{m}$) sono i maggiori responsabili della risalita capillare. Nei micropori $< 0,2 \mu\text{m}$ è trattenuta l'acqua a tensioni più elevate di 1,5 Mpa, cioè quella non utilizzabile dalle piante (punto di appassimento).

Il volume totale dei pori varia da un terzo a due terzi del volume totale, il che equivale a valori di densità apparente variabili da 1,0 a 1,6 g cm⁻³, dove i valori più bassi corrispondono a suoli argillosi ben strutturati e più alti, generalmente, a quelli sabbiosi mal strutturati. La porosità valutabile in campagna è ristretta alla macroporosità (pori $> 60 \mu\text{m}$) e di questa solamente per i pori $> 250 \mu\text{m}$, limite di risoluzione della visione ad occhio nudo.

In campagna vengono valutate le seguenti classi:

Tipo di poro	Dimensione
pori molto fini	$< 0,5 \text{ mm}$
pori fini	0,5 – 1 mm
pori medi	1-2 mm
pori grandi	$> 5 \text{ mm}$

Tab.13. Dimensioni pori argilla

5.3. Fasi di lavorazione del laterizio

Il ciclo produttivo dei laterizi ha subito negli ultimi decenni una profonda evoluzione sul piano impiantistico, puntando fortemente sull'automazione del processo, la qualità dei materiali, la riduzione dei consumi energetici e la compatibilità ambientale. In particolare l'automazione ha finito col relegare il ruolo della manodopera unicamente alle funzioni di controllo e di manutenzione. Le fasi della lavorazione sono rimaste invariate:

- 1- *Estrazione*
- 2- *Stagionatura*
- 3- *Decantazione*
- 4- *Manipolazione o impastamento*
- 5- *Foggiatura*
- 6- *Essiccazione*
- 7- *Cottura*

1- Estrazione:

L'estrazione dell'argilla non è particolarmente complessa. Si ottiene dai depositi naturali situati in zone di pianura o sui rilievi montuosi e collinari o dalle cave connesse ai depositi fluviali e comprende tutte le operazioni di scavo, recupero e deposito della materia prima, procedendo a cielo aperto creando grandi fosse per mezzo di trincee parallele o intagliando il pendio con uno scavo ad anfiteatro o estraendo l'argilla dall'alveo dei fiumi.



Fig. 65. Cava

Quando si inizia la coltivazione la prima operazione consiste nell'asportare lo strato superiore del terreno alterato, ricco di radici e di sostanze vegetali (cappellaccio) in modo da mettere alla luce il banco utile di argilla per una superficie che corrisponda al volume utilizzabile nell'intera stagione. Con sistemi manuali di estrazione si procede di solito su un fronte di cava di altezza non superiore a 1.50 – 1.80 m, mentre con i mezzi meccanici si raggiungono anche profondità maggiori; in questo caso la parete dello scavo viene suddivisa in gradoni orizzontali separati da scarpate inclinate che consentono anche di coltivare la cava su più fronti nel medesimo tempo.

Lo *scavo manuale* viene condotto con zappe larghe e pesanti, intagliando la parete dall'alto in basso in



Fig.66. Estrazione manuale dell'argilla

strati di spessore non superiore a 50 cm e procedono in progressione da un lato dello scavo all'altro in modo che il fronte sia sempre rettilineo e regolare. Le argille compatte e dure devono essere estratte in blocchi dopo aver praticato delle incisioni verticali e orizzontali fino a una certa profondità. Le argille che si ricavano all'interno degli alvei fluviali e delle zone golenali, come avveniva sul Mincio in Lombardia e sull'Arno in

Toscana, sono chiamate *mellette di fiume* e

vengono estratte con pale di legno di forma concava e lati rialzati quando l'estrazione viene praticata in acque poco profonde oppure con *draghe* montate su chiatte in grado di spostarsi lungo i canali oppure attraverso *norie* costituite da due catene parallele continue e girevoli dotate ad intervalli di lame raschiatrici a denti o di tazze scavatrici. I materiali, di consistenza melmosa, vengono accumulati sul bordo della zona di estrazione e lasciati parzialmente asciugare.



Fig.67. Estrazione meccanica dell'argilla con la *norie* di Hama in Siria

Le apparecchiature di estrazione meccanica contemporanea sostituiscono il lavoro manuale a partire dal secolo XIX, anche se l'estrazione a mano rappresenta l'unico sistema impiegato nelle piccole fornaci. La macchina estrattiva più usata è la draga per le cave nei pressi dei depositi fluviali ed una serie di mezzi meccanici per le cave montuose o collinari.



Fig.68. Draga



Fig.69. Draga continua

2-Stagionatura:

L'estrazione è solitamente condotta in autunno o agli inizi dell'inverno per lasciare esposto alla pioggia e all'azione del gelo e del disgelo il cumulo di argilla e provocare la disgregazione naturale delle zolle in particelle minute. L'ibernazione riduce la compattezza e la coesione delle argille troppo plastiche e rende l'impasto abbastanza omogeneo e consistente determinando una grana più fine nel laterizio cotto. La disposizione dell'argilla in cumuli non più alti di 1 m, periodicamente rivoltati con la pala, permette all'azione delle intemperie di estendersi a tutta la massa che, soprattutto bagnata abbondantemente prima del gelo, risulta molto friabile e più facile da lavorare con i metodi manuali.

Di identico effetto è l'estivazione che si effettua nelle regioni calde in cui le zolle sono lasciate esposte al sole, al vento e alla pioggia fino a che l'azione combinata dell'impregnazione e dell'essiccazione non rende la massa friabile, in grado di assorbire rapidamente acqua e formare così un impasto di adeguata consistenza.

3-Decantazione:

Correzione del materiale mediante l'aggiunta di eventuali sostanze estranee la correzione mediante l'aggiunta di altre sostanze per ottenere una miscela di argilla della composizione voluta. Affinchè un'argilla sia lavorabile è necessario che ci sia un giusto rapporto tra scheletro e minerali argillosi, dato che questi ultimi da soli non si possono foggare in quanto sono troppo plastici e il prodotto che ne deriverebbe avrebbe un ritiro eccessivo in seguito all'essiccamento e alla cottura. Per eliminare i granuli presenti nell'argilla si può procedere o per semplice vagliatura, per via secca, per ottenere un prodotto grossolano lasciando asciugare il materiale in modo naturale o essiccato artificialmente e quindi macinato e ridotto in polvere per mezzo di disaggregatori di argilla, mentre nel processo per via umida l'argilla addizionata con acqua viene affinata in vasche successive con macchine composte da cilindri laminatori, sminuzzatori e raffinatori, se si vogliono ottenere prodotti più fini.

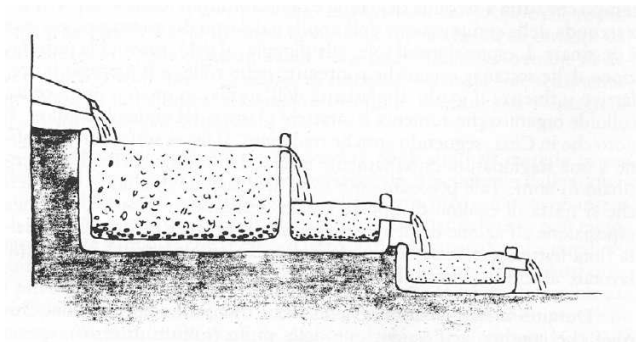


Fig.70. Decantazione in acqua corrente con sistema a vasche

Le impurità sono eliminate immettendo l'argilla in apparecchi diluitori che mandano la fanghiglia in vasche di decantazione dove le parti vegetali galleggiano e sono fermate da griglie, mentre la frazione più grossa precipita sul fondo e la poltiglia raffinata passa nelle vasche di essiccazione.

4-Manipolazione o impastamento:

La fase successiva del processo di produzione prevede la manipolazione dell'argilla con graduale aggiunta di acqua, in modo da accelerarne la penetrazione, al fine di ottenere un impasto plastico omogeneo e degassato, con un grado voluto di finezza.

5-Foggiatura:

L'operazione di foggatura conferisce al laterizio l'aspetto definitivo che verrà fissato dalla successiva fase di cottura. La modellazione secondo i sistemi tradizionali è eseguito a mano e, solo dalla metà dell'Ottocento, vengono introdotte nella produzione le macchine mattoniere a trafilatura e quelle che utilizzano sistemi a compressione, ambedue in grado di eseguire meccanicamente tutte le operazioni riguardanti la formatura e il taglio del laterizio.

a) La formatura a mano:

Il metodo manuale per la formatura dei laterizi è il più semplice ed antico e necessita di pochi strumenti e di una limitata attrezzatura, composta essenzialmente da banco da modellatore e da stampi di varia forma e dimensione, corrispondenti al tipo di produzione della fornace.

Il banco è costituito da un tavolo robusto composto da un piano orizzontale chiamato *tavolino* su cui viene sistemato il mucchio di terra argillosa, ben impastato e portato alla giusta consistenza da una adeguata quantità di acqua. Sul fianco il tavolino prosegue con un piano abbastanza largo e leggermente inclinato verso l'esterno, chiamato *spianatoio*, su cui si esegue la formatura vera e propria; qui trova posto il catino per l'acqua in cui viene immerso il coltello di legno che serve da raschiatore e di fianco, a portata di mano, si pone il contenitore per la sabbia.

Intorno vengono sistemati la carriola, la pala, la zappe tutti gli altri attrezzi necessari alla manipolazione dell'argilla e al suo trasporto dal cumulo posto sul piazzale. Le squadre di operai addetti alla formatura sono composte di solito da 4 o da 6 operai e l'organizzazione del lavoro assicura la fabbricazione di oltre 1000 mattoni in poche ore; per questo intorno al

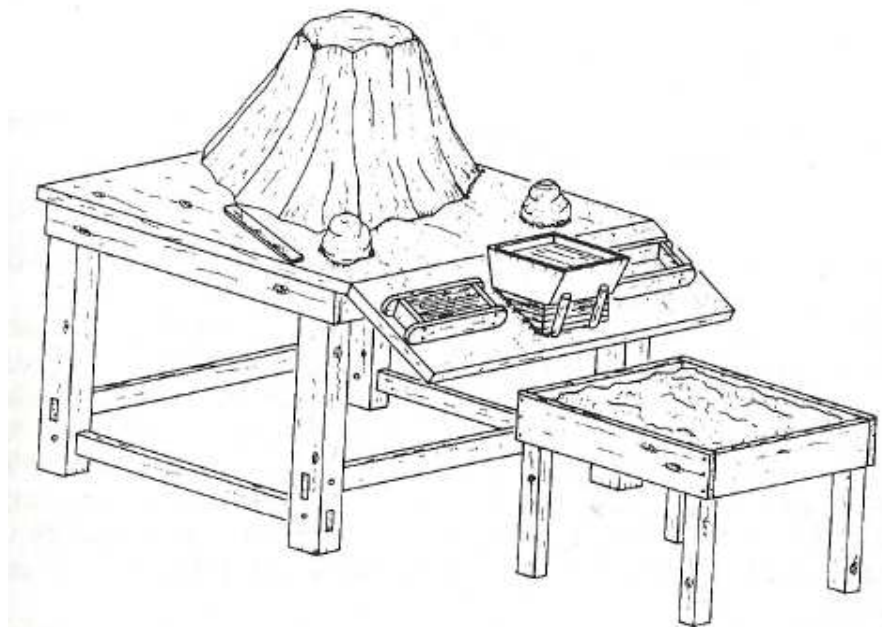
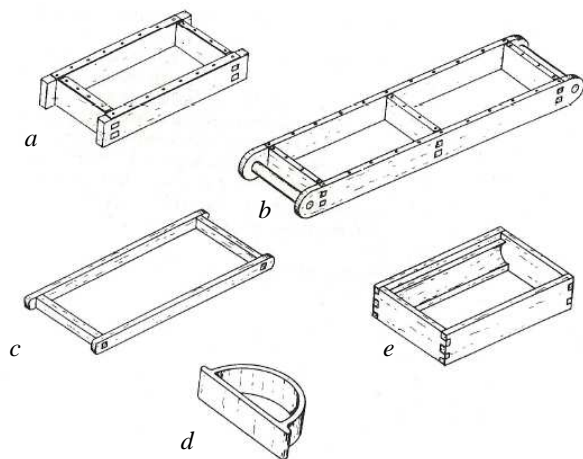


Fig.71. Banco per la formatura a mano dei mattoni

banco di formatura deve essere disponibile un ampio piazzale ricoperto di sabbia e di dimensioni tali da accogliere la produzione di svariati giorni di lavoro.

Le forme per il modellamento dei mattoni comuni sono composte con quattro assi di limitato spessore, costituite con legno duro e rese solidali in modo da comporre una robusta cassetta con sporgenze agli angoli e aperta sui due lati maggiori; per la produzione di mattoni a due sabbie una delle facce principali è chiusa con un fondo, sempre di legno.



- a- forma singola per mattone con bordo contornato da una lamiera per evitare l'eccessiva usura;*
- b- forma doppia;*
- c- forma per tavella;*
- d- forma per mattone semitondo da colonna;*
- e- forma con un risalto per mattoni modanati.*

Fig.72. Forme di legno impiegate per il modellamento dei laterizi

Lo stampo costruito con due cavità uguali affiancate permette di modellare nel medesimo tempo due mattoni, come avviene in diverse località del veneto e della toscana; alcuni stampi soprattutto quelli per laterizi di grandi dimensioni e spessore sottile, sono apribili e le assicelle vengono trattenute da un cappio di corda posto sulle perimetri della cassetta. Lungo il bordo superiore la struttura è sovente rinforzata con una banda metallica che assicura una maggiore protezione dall'usura derivata dallo scorrimento del coltello raschiante.

La sagoma del vano della cassetta riproduce quella del laterizio da confezionare ed è rettangolare per i semplici mattoni, semicircolare per gli elementi curvi oppure a trapezio allungato per le tegole. Le dimensioni interne delle cassette sono tali da tener conto delle condizioni che il laterizio subisce con la cottura e solitamente si ottengono moltiplicando le misure del prodotto finito per un coefficiente compreso tra 1.05 e 1.15, ricavato da ripetute prove di cottura e dipendente dalle proprietà plastiche dell'impasto utilizzato.

Prima di eseguire l'operazione di formatura, l'operaio addetto al modellamento cosparge tutto il piano del banco e la forma di sabbia fine ben setacciata per limitare l'adesione dell'argilla alle parti in legno; poi, dal cumulo posto sul tavolino, stacca una parte di terra a cui viene data una forma rotondeggiante facendola rapidamente scorrere sul piano insabbiato; il blocco viene sollevato e lanciato con forza nello stampo, dove viene compresso fino a intasare tutti gli interstizi. L'eccesso di argilla è tolto passando il coltello raschiatore lungo il bordo e viene pareggiata con le mani bagnate fino ad ottenere una superficie sufficientemente liscia senza impronte e deformazioni, ma con quelle leggere striature longitudinali che caratterizzano il laterizio modellato a mano. La sformatura è eseguita da un addetto che fa scivolare lo stampo pieno lungo il piano inclinato e lo trasporta sull'aia di essiccamento cosparsa

di sabbia dove dispone lo stampo vicino al suolo in posizione orizzontale; per il distacco è sufficiente una leggera scossa e il laterizio cade di piatto con la faccia inferiore sul piazzale, mentre la forma vuota viene sollevata in verticale e riportata al banco. I mattoni freschi sono accumulati uno di fianco all'altro per file parallele e lasciati sull'aia per la prima fase di essiccamento.

b) La formatura a macchina:

Le prime apparecchiature meccaniche per la fabbricazione dei laterizi compaiono all'inizio dell'Ottocento, ma solo dopo la prima metà del secolo le macchine vengono perfezionate nel sistema di formatura e di taglio e rese capaci di una grande produzione.

Dal momento con cui avviene la formatura, le mattoniere di quel periodo si distinguono nelle due grandi categorie delle macchine a trafilatura e delle macchine che operano a compressione, a cui si affianca quella meno importante delle macchine che imitano il lavoro a mano.

Le *macchine a trafilatura* sono composte da una struttura verticale o orizzontale con un meccanismo di propulsione ad elica o a cilindri che comprime l'impasto e lo spinge attraverso una o più aperture affiancate, chiamate filiere, costringendo l'argilla, compressa e compatta, ad uscire dalla parte terminale della macchina in un nastro continuo sagomato con una sezione identica a quella del laterizio. Le filiere per mattoni pieni sono costruite con un sistema di lamelle entro cui l'argilla passa insieme a un velo d'acqua che impedisce al nastro di deformarsi agli angoli per l'attrito contro



Fig.73. Macchina a trafilatura

le pareti del passaggio, mentre i mattoni forati si ricavano inserendo nella feritoia di uscita dei nuclei pieni sostenuti tramite un lungo gambo a una staffa fissata alla parte interna; il sistema consente di ricavare anche tegole piane e a coppo, tubi, laterizi forati con lati inclinati o sagomati ad incavi e a risalti per gli incastri longitudinali. A valle della trafilatura, il nastro è sostenuto da un banco a rulli su cui è montata la struttura di taglio composta da uno o più fili di acciaio situati a una distanza corrispondente alla dimensione media del laterizio; il taglio è azionato a intervalli regolari e la struttura si abbassa o si sposta lateralmente in modo che il filo attraversi in direzione perpendicolare il nastro d'argilla.

Nelle *macchine di formatura che operano per compressione* l'argilla viene pressata e modellata con uno stampo apribile in due parti, costruite in metallo o in gesso, su cui un sistema a leva, a vite o a eccentrico oppure un maglio a caduta libera trasmette la pressione necessaria alla formatura. Con queste attrezzature vengono stampati laterizi con struttura compatta e non porosa, come le tegole piane,

le tegole marsigliesi e gli elementi di colmo non ricavabili con le normali operazioni di trafilatura. L'argilla è utilizzata allo stato umido e già formata in rettangoli sottili chiamati gallette che sono ottenuti tagliando un nastro di argilla continuo ricavato per trafilatura. Le gallette sono poste negli stampi e vengono passate fino a che prendono la forma della matrice; l'eccesso di argilla fuoriesce dalle commesse tra le due parti dello stampo e intorno al laterizio si creano delle sbavature che devono essere asportate con un'operazione manuale o meccanica prima della cottura.

La *formatura per compressione di paste argillose secche* viene impiegata per la prima volta nella fabbricazione dei laterizi soprattutto in Inghilterra e in Germania. Il procedimento consiste nel riempier, tramite dosatori meccanici, un incavo di forma parallelepipedica con argilla quasi asciutta finemente granulata che viene depurata per macinazione e decantazione dai componenti grossolani. La pasta secca viene pressata sulle due facce maggiori contrapposte tramite uno stampo e un controstampo; dopo la formatura il primo si solleva rapidamente e un sistema di leve fa salire il secondo fino al piano provocando il distacco del laterizio. Le macchine operatrici sono presse idrauliche con cui si raggiunge l'alta pressione necessaria a rendere la struttura del laterizio compatta e non porosa, con un limitato ritiro alla cottura e fasce lisce e levigate adatte all'impiego nei parametri in vista. Queste macchine trovano largo impiego nella fabbricazione di piastrelle da pavimento e da rivestimento dove sono utilizzate miscele di argille molto forti ricche in ossido di ferro.

Le macchine che imitano il *lavoro a mano* sono composte da un miscelatore orizzontale o verticale che confeziona un impasto umido con cui vengono riempite delle forme simili a quelle a cassetta, provviste però di coperchio e fondo mobili. La pressione necessaria per costipare l'argilla è trasmessa con una lunga leva, azionata manualmente, ad un coperchio inserito nello stampo; il distacco avviene togliendo la forma e deponendo il mattone sull'aia con i sistemi manuali, ma la macchina può essere dotata di un meccanismo che alza il fondo della cassetta ed espelle sul piano l'impasto compresso. Con questo sistema si ottiene un aumento di produzione rispetto alla formatura a mano, ma, soprattutto con argille magre e sabbiose, il laterizio non è sempre perfettamente omogeneo e di buona qualità.

6-Essiccazione:

Il laterizio non ancora cotto e ricavato con paste argillose umide contiene una percentuale di acqua, aggiunta per facilitare la lavorazione, in quantità proporzionale al grado di plasticità del materiale impiegato. Lo scopo dell'essiccamento è quello di impedire che il laterizio fresco sottoposto al calore di cottura si deformi o screpoli per effetto di una repentina eliminazione dell'acqua di lavorazione; il processo inizia subito dopo la formatura e la perdita d'acqua avviene per evaporazione dalle superfici

esterne con un continuo passaggio capillare di umidità dalle parti interne a quelle esterne. All'inizio del processo le particelle argillose tendono ad avvicinarsi reciprocamente e riempire gli spazi vuoti lasciati dall'acqua che evaporando provoca una diminuzione più o meno elevata del volume e il ritiro dimensionale del laterizio; nella fase terminale quando la percentuale di acqua è molto diminuita, la contrazione cessa quasi completamente e l'evaporazione non provoca più assestamenti tra le particelle, ma lascia una diffusa porosità all'interno della struttura. L'operazione di essiccamento o di stagionatura avviene utilizzando:

- a) *Sistemi naturali*
- b) *Sistemi artificiali*

a) L'essiccamento naturale:

Si può compiere solo durante le stagioni calde e poco piovose e rappresenta il sistema più usato nella fabbricazione a mano dei laterizi; il processo inizia quando questi vengono staccati dalle forme e disposti di piatto sull'aia situata di fianco alla fornace. Su questo piazzale, spianato e provvisto di una serie di canali perimetrali per evitare il ristagno dell'acqua piovana, i mattoni sono sistemati per file parallele in comparti separati da corridoi, usati quando si deve intervenire in caso di pioggia per coprire i mattoni freschi con stuoie o per spargere uno strato di sabbia se l'argilla si asciuga troppo rapidamente e rischia di screpolarsi. Dopo un periodo compreso tra 12 e 24 ore nelle stagioni calde, i mattoni diventano maneggevoli senza deformarsi e si procede a togliere per mezzo di un coltello o con un raschietto le sbavature che lo stampo ha lasciato negli angoli e sui lati del laterizio.

Su questo piazzale, spianato e provvisto di una serie di canali perimetrali per evitare il ristagno dell'acqua piovana, i mattoni sono sistemati per file parallele in comparti separati da corridoi, usati quando si deve intervenire in caso di pioggia per coprire i mattoni freschi con stuoie o per spargere uno strato di sabbia se l'argilla si asciuga troppo rapidamente e rischia di screpolarsi. Con l'operazione chiamata accatastamento in gambetta i mattoni, oramai induriti in superficie, vengono alzati di costa e ammicchiati

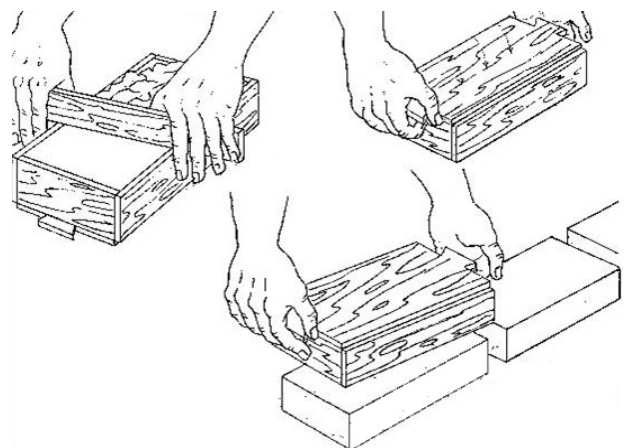


Fig.74. Preparazione laterizio per la fase di essiccamento

per file parallele ravvicinate fino a formare dei muretti non molto alti; i mattoni, riparati con delle stuoie dall'azione diretta del sole e della pioggia, sono posati a una distanza tale da permettere la circolazione dell'aria e facilitare la lenta evaporazione dell'umidità. I laterizi rimangono ad essiccare in gambetta per un periodo variabile da 3 a 10 giorni e infine sono trasportati alla fornace per la cottura.

a) *L'essiccamento artificiale:*

I sistemi artificiali di essiccamento vengono impiegati per ogni tipo di laterizio, formato a macchina o a mano, dalla metà del secolo XIX e sono in grado di fornire, con le attrezzature più complesse, mattoni asciutti e idonei alla cottura in 24 ore; rispetto ai sistemi naturali permettono di non interrompere la produzione della mattonaia durante le stagioni fredde e piovose. Le apparecchiature di essiccazione utilizzano una fonte di calore proveniente da appositi forni oppure sfruttano l'aria e i gas caldi che escono dalle bocche di uscita della fornace durante le fasi di cottura. Tra gli essiccatori, il più semplice è quello costituito da un fabbricato che racchiude la fornace con una struttura coperta in cui sono ricavate le incastellature per l'appoggio dei mattoni. Il passaggio dell'aria calda è facilitato da una serie di canali di distribuzione del calore e il fabbricato è provvisto di aperture per regolare l'aerazione e liberare l'ambiente del vapore d'acqua che si forma durante il processo, nonché di montacarichi per il sollevamento dei mattoni freschi e per l'abbassamento di quelli essiccati.

Sistemi più complessi sono rappresentati dagli essiccatori a canale o a camera, costruiti in muratura di fianco al forno di cottura. I primi sono composti da una o più gallerie parallele e i laterizi freschi vengono introdotti ad una estremità, dopo essere stati caricati su una serie di vagoncini con scansie che si muovono lentamente su rotaie in direzione uguale o contraria a quella dell'afflusso dell'aria o dei gas caldi. All'interno della galleria si formano zone in cui il calore aumenta in maniera graduale e consente l'essiccazione progressiva dei materiali che si spostano lentamente lungo le rotaie.

Gli essiccatori a camera sono costituiti da una serie di piccoli vani in muratura, ricavati uno di fianco all'altro all'interno di una struttura posta lungo un lato della fornace; i laterizi vengono sistemati in queste camere e appoggiati su scansie o su una struttura su assi mobili estraibili con carrelli elevatori che si spostano su rotaie. Le camere sono di forma ridotta per evitare condense di vapore e vengono riscaldate con un sistema di tubazioni o di tunnel in muratura collegati a gruppi di valvole che regolano in modo progressivo l'immissione di aria calda e ne consentono lo scarico al termine dell'operazione.

7-Cottura:

le reazioni chimiche prodotte nell'argilla durante la cottura trasformano il materiale in un prodotto anidro e privo delle sue proprietà plastiche iniziali. Nel forno di cottura la temperatura si innalza gradualmente e poco oltre 100°, evaporano gli elementi volatili delle sostanze organiche insieme alla residua acqua di lavorazione, mentre tra 400° e 600° si scompongono i minerali argillosi e viene eliminata l'acqua di combinazione insieme a tutti i composti organici presenti nell'impasto. La cottura può avvenire ad una temperatura variabile tra 800° e 1200° secondo la qualità dell'argilla e le proporzioni di materiali fondenti contenuti nella pasta; per impasti usuali l'operazione termina a circa 1000°, quando nel laterizio si forma una massa di silicati e alluminati complessi insieme ad un principio di vetrificazione; questo scheletro parzialmente fuso rende compatta e resistente la struttura, che però conserva sempre una tessitura finemente porosa. Con temperature superiori al punto di cottura il mattone comincia a deformarsi e si producono ampie zone vetrificate sulla superficie del laterizio, che infine fonde.

La misura della temperatura viene determinata osservando il colore che i laterizi e le pareti del forno assumono durante la cottura. La tinta rosso ciliegia indica una temperatura compresa tra 800° e 900°, mentre quella giallo-arancio compare a 1000°, procedendo il colore bianco segnala un grado di calore intorno a 1200°. La determinazione a vista non è però sempre precisa e per questo scopo vengono introdotti nei grandi forni i coni *Seger*, costituiti da piramidi allungate, distinte da numeri, composte con una miscela di silicati che fondono a diverse temperature ben determinate; sono posti in serie su un lato della fornace in una nicchia al riparo dall'azione diretta del fuoco e il grado di calore dell'ambiente corrisponde alla temperatura di fusione del cono ripiegato su se stesso che precede quelli solo leggermente deformati.

I laterizi cotti assumono una colorazione molto variabile e dipendente dalla composizione dell'argilla e dell'ambiente ossidante o riducente in cui avviene la cottura. In atmosfera ossidante il colore del laterizio diviene rosso più o meno intenso a causa della trasformazione dell'ossido ferroso in ferrico, ma la presenza di elevate percentuali di calcio e magnesio, con cui il silicato forma un silicato multiplo, neutralizza il colore, che tende al giallo chiaro o a tonalità arancioni. L'ambiente riducente, con scarsità di ossigeno, conferisce ai prodotti una colorazione bruno-scura con tonalità bluastre o altre tinte che riducono il valore commerciale del laterizio. La presenza di zolfo nei combustibili impiegati nella cottura danneggia la superficie del laterizio e produce una colorazione non uniforme a fiamma turchese e rosse; è anche responsabile della formazione di croste biancastre di solfato di calcio che

provoca efflorescenze disgreganti e impedisce alle malte da costruzione di aderire alle facce del mattone.

La classificazione dei forni per laterizi è basata sul tipo di funzionamento e distingue la vasta gamma di apparecchiature impiegate in tre categorie:

- a) *Forni semplici a funzionamento intermittente*
- b) *Forni accoppiati e funzionamento semicontinuo*
- c) *Forni continui a fuoco mobile o fisso*

a) Forni semplici:

Il più semplice sistema intermittente utilizza la cottura allo scoperto o in pignoni con un procedimento che risulta molto economico, anche se di basso rendimento, perché non prevede la fabbricazione del forno o di altre strutture fisse.

I mattoni sono collocati a strati al di sopra dei fornelli, lasciando tra loro uno spazio sufficiente alla libera circolazione dei gas caldi della combustione e alternando la disposizione di piatto a quella di coltello con gli elementi posti in diagonale rispetto al filare; durante l'accumulo, in corrispondenza dei fornelli, sono lasciati diversi condotti verticali che fungono da camini per la distribuzione del calore. Quando gli strati raggiungono l'altezza di 1.5-2 m fuori terra, iniziano le operazioni di accensione introducendo legna o carbone dalle due aperture contrapposte dei fornelli in modo che il calore cominci a far evaporare l'acqua residua e i mattoni soprastanti, più freddi, non assorbano eventuali condense di vapore. La catasta viene innalzata, sempre a fuochi accesi, fino all'altezza di 6-7 m dal suolo e con pareti esterne inclinate a scarpa; il mattone è rivestito con mattoni crudi posti a stretto contatto tra loro per impedire fughe di calore oppure viene intonacato con argilla mista a paglia lasciando solo delle aperture in corrispondenza dei camini interni. A volte, per rendere più uniforme la cottura, gli interstizi tra i mattoni sono riempiti di piccoli pezzi di carbone che possono però limitare la fuoriuscita del vapore e coprire la superficie del laterizio di scorie e cenere. La fine della cottura è segnalata dal calo della catasta provocato dal ritiro dei materiali; a quel punto si spengono i fuochi lasciando raffreddare lentamente la massa prima di smantellare la struttura per lo sfornamento. Con questo sistema la distribuzione irregolare del calore produce un laterizio poco omogeneo e di colore non uniforme; inoltre almeno 1/3 della produzione risulta di solito non utilizzabile anche se i mattoni poco cotti delle zone esterne sono recuperati e accatastati per le successive operazioni di cottura.

b) Forni a camera:

In queste strutture, denominate anche fori provvisori di campagna, il sistema di cottura del laterizio funziona in modo intermittente con una tecnica di produzione simile a quella impiegata nell'antichità. I ritrovamenti archeologici permettono di ricostruire le tipologie delle fornaci romane che erano costruite con pianta di forma variabile (rotonda, ellittica, quadrata, rettangolare, trapezoidale) e camera di combustione scavata nel terreno per conservare meglio il calore, con uno o due ingressi a tunnel. Tra la zona di combustione e la camera di cottura è interposto un piano forato sostenuto da pilastri oppure da un sistema di archi e muri; il piano è ricoperto dalla camera di cottura con forma a cupola e struttura non sempre fissa, ma con pareti e tetto costruiti ogni volta intorno ai laterizi da cuocere, impiegando anche i materiali di scarto derivati da precedenti lavorazioni. Sul piano traforato viene accatastato il laterizio disposto in modo che il calore circoli liberamente; i gas della combustione che fuoriescono dal basso sono diretti verso un'apertura ricavata nella parte superiore del forno.

I *forni a camera moderni* sono costituiti da un fabbricato in muratura con pianta di forma quadrata o rettangolare di 8-12 m di lato e con pareti inclinate di notevole spessore alla base, oltre 2 m; l'altezza della camera di cottura consente l'accatastamento di almeno 35-40 strati di mattoni disposti di costa.

La struttura viene riparata dalle intemperie con un tetto spiovente fisso appoggiato alla fornace su quattro pilastri angolari. La camera di combustione è situata nella parte inferiore della struttura ed è interrata o circondata da cumuli di terra che, oltre a rendere stabile la costruzione, evitano le perdite di calore; di norma la camera di fuoco è costituita da un vano di altezza inferiore a 1 m situato alla base del forno e separato dalla zona di cottura per mezzo di un piano a tagli longitudinali sostenuto da pilastri e da muri. Il combustibile, composto da legano, carbone o torba, è inserito in due o tre basse aperture situate su un lato del fabbricato; in certe fornaci la camera di combustione è ricavata lasciando aperti, nella catasta di mattoni, dei lunghi fornelli corrispondenti alle bocche di carico della legna o del carbone. Il laterizio fresco è introdotto nella fornace dai lati tramite aperture lunghe e strette che, prima della cottura, vengono chiuse con un muro; i mattoni sono postati di costa disponendo ogni strato in direzione ortogonale o a spina di pesce rispetto al successivo e lasciando gli interstizi necessari al passaggio del vapore e della circolazione del calore, mentre l'ultimo strato è composto con laterizi messi a piatto. Subito dopo l'accensione il forno viene alimentato in modo graduale per eliminare l'acqua residua e solo dopo un certo periodo si procede ad aumentare la quantità di combustibile fino a quando il laterizio assume un colore bianco-giallo esteso fino alla sommità della pila e distribuito in tutta la massa ad indicare una temperatura superiore a 1000°; solo allora vengono chiuse le bocche dei

focolari e la camera si lascia raffreddare lentamente per almeno 6 giorni prima di scaricare il laterizio cotto.

Per migliorare la resa termica la catasta dei mattoni crudi viene ricoperta a volte con un sottile strato di argilla, 10-15 cm, su cui vengono praticate delle aperture per distribuire il calore in maniera uniforme; lo strato argilloso si dispone solo dopo aver raggiunto la temperatura di cottura, sistemando la terra per gradi e iniziando a colmare la sommità dei lati e delle pareti periferiche della catasta.

Il rendimento dei forni a camera è superiore a quello ricavato con la cottura in pignoni e questo sistema di produzione permette una certa distribuzione delle temperature con eliminazione graduale dell'umidità, senza che si formino condense interne; i laterizi prodotti sono di buona qualità e cotti in modo uniforme anche se le parti inferiori della catasta sono quasi sempre da scartare, perché rammolliscono facilmente a causa del calore diretto e si deformano per il peso degli strati soprastanti.

c) Forni a funzionamento continuo, il sistema Hoffmann:

I forni accoppiati a funzionamento semicontinuo vengono realizzati per migliorare le prestazioni termiche degli impianti; si basano sul principio della riutilizzazione dell'aria calda che viene aspirata dal forno durante la fase di raffreddamento e inviata tramite un condotto con valvola a saracinesca ad un secondo forno durante le operazioni di alimentazione del fuoco di cottura.

La forma originale della fornace Hoffmann è rotonda, con una galleria anulare continua che costituisce il canale di cottura, largo circa 3.20 m e alto 2.80 m, con sezione costruita a volta da un insieme di archi distanziati tra cui vengono realizzate le torrette delle bocche di carico del combustibile.

Al centro della fornace si trova il camino, alto fino a 40 m, che raccoglie i fumi e i gas di combustione tramite un collettore situato nella zona interna circondata dalla galleria.

Nelle fornaci più piccole la lunghezza della galleria non supera 50 m e il numero degli scomparti varia da 12 a 16, ognuno collegato all'esterno per mezzo di una porta usata per le operazioni di carico e scarico

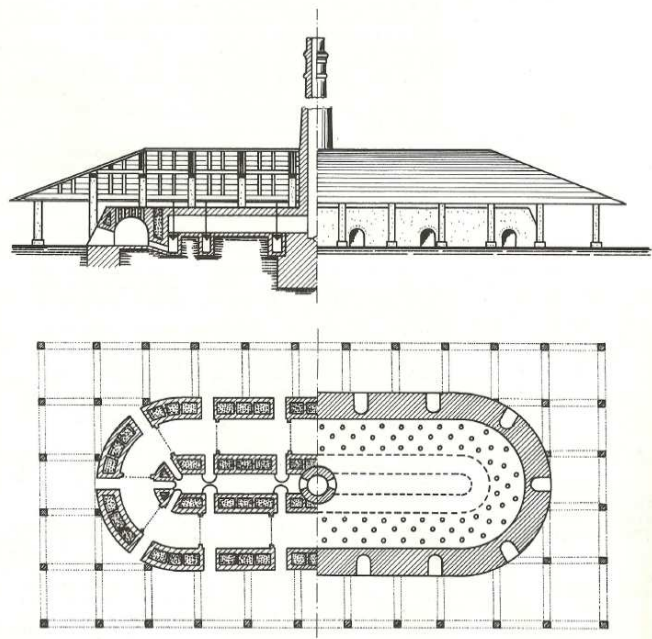


Fig.75. Sezione e pianta forno Hoffman

del laterizio; alla base della parte interna della galleria e in corrispondenza delle celle viene costruito il condotto di uscita dei gas caldi, collegato al collettore centrale da una valvola a sfera o a cono.

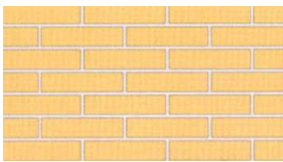
Le fornaci più grandi sono composte da una galleria lunga fino a 90-100 m e disposta su una pianta rettangolare allungata con gli angoli arrotondati; il numero degli scomparti aumenta, 24-32 celle, e per evitare una diminuzione del rendimento termico, vengono mantenute due diverse zone di fuoco contrapposte che avanzano insieme nello stesso tempo. Il ciclo di cottura è continuo e la produzione procede per un'intera stagione; l'operazione iniziale di accensione avviene quando tre o quattro scomparti sono caricati di mattoni disposti a strati fino a riempire tutta l'altezza della galleria.

All'interno della catasta sono lasciati liberi quattro canali verticali in funzione di pozzetti di caduta del combustibile e aperti in corrispondenza delle bocche di carico situate sulla volta. Per le operazioni di accensione viene costruito, contro la prima catasta, un muro con tre focolari alla base da cui si diramano altrettanti canali longitudinali nella massa dei mattoni crudi; questi tunnel sono destinati ad essere riempiti con la legna o il carbone, impiegati come combustibile, solo al momento dell'accensione. Una volta ultimata la cottura del primo cumulo i focolari sono richiusi per evitare richiami di aria fredda, mentre il forno viene alimentato dall'alto attraverso le quattro bocche di carico allineate su una linea trasversale e situate a distanze regolari lungo tutta la volta della galleria. Dopo l'accensione si provvede a richiudere la galleria a valle dell'ultimo comparto caricato con la paratoia di metallo o con il diaframma di carta e si apre la corrispondente valvola di collegamento al camino; mentre la fase di cottura procede, le altre celle vengono riempite di laterizi a strati fino a che tutta la galleria entra in produzione e la zona del fuoco si sposta progressivamente in avanti, permettendo l'eliminazione della parete con i focolari usata nella fase iniziale. Durante il normale funzionamento la zona di cottura viene mantenuta in posizione contrapposta a quella di carico e scarico dei laterizi e durante queste operazioni la porta aperta verso l'esterno consente l'ingresso dell'aria fredda che inizia a circolare lungo la galleria; la corrente d'aria, attraversando i materiali cotti in via di raffreddamento, si riscalda progressivamente a spese di questi fino a giungere nella zona di cottura dove alimenta la fiamma e aumenta il rendimento termico del combustibile per effetto del preriscaldamento. Oltre la zona del fuoco l'aria calda, costretta a circolare, cede calore alle cataste di mattoni crudi e infine, all'altezza dell'ultimo cumulo coperto a valle del diaframma di carta o di lamiera, entra nel camino passando dal condotto di scarico e dal collettore. Ogni volta che il laterizio oramai freddo viene tolto da una cella si procede al carico di una nuova catasta di materiale crudo, mentre dalla parte opposta della galleria anche la zona del fuoco viene spostata in avanti introducendo combustibile dalle bocche di carico che sormontano il successivo cumulo di laterizi. L'avanzamento della zona di cottura procede

con una velocità variabile tra 5 e 10 m nell'arco di 24 ore in cui vengono prodotti 15.000-20.000 laterizi.

Attualmente le fornaci di tipo Hoffmann sono sostituite dai forni a canale già sperimentati nella seconda metà del secolo scorso e composti da una galleria rettilinea costruita con materiale refrattario. Il laterizio caricato su vagoni entra ad un'estremità della galleria e procede lentamente riscaldandosi e perdendo le tracce di umidità residua; a metà lunghezza viene sottoposto alla cottura ed esce all'estremità opposta. Il percorso finale serve per il raffreddamento e viene agevolato da una corrente d'aria che circola in direzione contraria verso l'ingresso della galleria.

5.3.1. Tessitura muraria

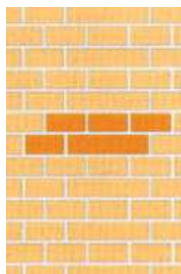


- Tessitura a cortina: è la disposizione propria del muro ad una testa, di semplice rivestimento. I mattoni vengono disposti tutti di lista (o di fascia), cioè presentando in vista solo il lato lungo. Questa tessitura è la più semplice e veloce da eseguire in quanto riduce al minimo il numero di giunti verticali da realizzare;

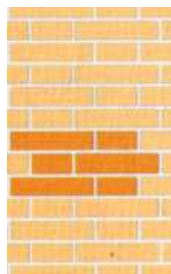


- Tessitura di testa: è la disposizione che presenta in facciata il più elevato numero di giunti verticali e, tra tutte le disposizioni per murature portanti, è quella meno resistente: è, quindi, adatta per murature poco sollecitate;

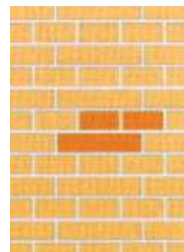
- Tessitura fiamminga



- Tessitura gotica



- Tessitura inglese



- Tessitura a croce



Fig.76. Tessiture murarie

5. 4. Quadro normativo

Fino a non molti anni fa, la muratura in laterizio come procedimento costruttivo era poco considerato poiché non esistevano norme che regolassero la costruzione, il dimensionamento e la progettazione. Questo ritardo nella messa a norma è stato conseguente ad uno sviluppo di cultura progettuale che si è concentrata su altre tecniche costruttive e di produzione: su tutte le strutture intelaiate in calcestruzzo armato e la prefabbricazione pesante iniziata verso la fine degli anni '60.

Le conseguenze di questa lacuna ricadevano principalmente sul progettista il quale, mancando di precisi riferimenti, era costretto a fare sommarie generalizzazioni dalla manualistica e non poteva che seguire criteri soggettivi, orientandosi verso l'uso cautelativo di sezioni murarie sovradimensionate. La nuova normativa (il D.M. 20.11.1987, "Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento" ed il D.M. 16.01.96, "Norme tecniche per la costruzione in zone sismiche") e il risultato delle sperimentazioni delle ditte produttrici, insieme ad una crescita di cultura tecnologica, hanno posto le condizioni per una rinascita della costruzione in muratura portante, tecnica costruttiva storicamente sempre in primo piano. L'utilizzo della muratura portante come soluzione costruttiva presenta diversi vantaggi rispetto alle altre soluzioni, grazie alle specifiche prestazionali dei blocchi in laterizio presenti sul mercato. Tali blocchi non forniscono solo garanzie di solidità statico-strutturale, ma possono vantare ottime qualità dal punto di vista dell'isolamento termico, dell'inerzia termica, della traspirabilità, dell'isolamento acustico, della resistenza al fuoco. Le capacità termoisolanti di tale tipo di blocchi derivano dalla presenza nell'argilla cotta di un grande numero di cavità contenenti aria che ne aumentano la resistenza termica rendendo non necessaria l'aggiunta di materiale isolante. La massa frontale delle pareti realizzate con laterizi ad alte prestazioni, inoltre, è paragonabile a quella di altre murature monostrato, garantendo così, oltre alla resistenza termica, notevoli doti di accumulo di calore e di inerzia termica, parametri fondamentali per il benessere degli occupanti l'edificio sia in regime invernale che in quello estivo. Nel tempo l'uso del laterizio portante è andato arricchendosi di pezzi speciali e malte appositamente confezionate, al fine di dar luogo ad un prodotto finale dalle notevoli qualità statiche ed estetiche. Oggi i blocchi in laterizio, vengono curati nei dettagli della forma, degli incastri, nel numero e nelle dimensioni dei vuoti e nella capacità di trasmittanza che il manufatto è in grado di garantire. In conclusione, se fino a qualche anno fa l'adozione del sistema a muratura portante poteva ancora essere considerata una scelta coraggiosa, ora non è più così. E' tornata ad essere presa in considerazione tra le scelte progettuali come soluzione tecnologica idonea al benessere ambientale e alla durabilità nelle costruzioni.

NORMATIVA RELATIVA AD ELEMENTI PER STRUTTURE MURARIE, PARTIZIONI INTERNE E TAMPONAMENTI

- **UNI EN 772-1**
Metodi di prova per elementi di muratura – determinazione della resistenza a compressione
- **UNI EN 772-3**
Determinazione del volume netto e della percentuale dei vuoti degli elementi di muratura di laterizio mediante pesatura idrostatica
- **UNI EN 772-5**
Metodi di prova per elementi di muratura – determinazione del tenore di sali solubili attivi degli elementi di muratura di laterizio
- **UNI EN 772-7**
Metodi di prova per elementi di muratura – determinazione dell’assorbimento d’acqua di strati impermeabili all’umidità di elementi di muratura di laterizio mediante bollitura in acqua
- **UNI EN 772-9+A1/98**
Metodi di prova per elementi di muratura – determinazione del volume della percentuale dei vuoti e del volume netto degli elementi di muratura in silicato di calcio e muratura in laterizio mediante riempimento con sabbia
- **UNI EN 772-11**
Metodi di prova per elementi di muratura – determinazione dell’assorbimento d’acqua degli elementi di muratura di calcestruzzo, di materiale lapideo agglomerato e naturale dovuta alla capillarità ed al tasso iniziale di assorbimento d’acqua degli elementi di muratura in laterizio
- **UNI EN 772-13**
Metodi di prova per elementi di muratura – determinazione della massa volumica a secco assoluta e della massa volumica a secco apparente degli elementi di muratura (ad eccezione della pietra naturale)
- **UNI EN 772-16**
Metodi di prova per elementi di muratura – parte 16: determinazione delle dimensioni
- **UNI EN 772-19**
Metodi di prova per elementi di muratura – determinazione della dilatazione all’umidità di grandi elementi da muratura in laterizio con fori orizzontali

- UNI EN 772-20
Metodi di prova per elementi di muratura – parte 20: determinazione della planarità delle facce degli elementi di muratura
- UNI EN 1745
Muratura e prodotti per la muratura, metodi per determinare i valori tecnici del progetto
- REGIO DECRETO 16/11/1939 – XVIII
Norme per l'accettazione e per il collaudo dei materiali da costruzione
- D.M. 16/01/1996
Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- D.M. 20/11/1987
Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e loro consolidamento
- D.M. 14/09/2005
Norme tecniche per le costruzioni
- D.M. 14/01/1985
Classificazione alla reazione al fuoco ed all'omologazione dei materiali
- D.M. 15/03/2005
Requisiti di reazione al fuoco dei prodotti da costruzione installati in attività disciplinate da specifiche disposizioni tecniche di prevenzione incendi in base al sistema di classificazione europeo
- D.M. 10/03/2005
Classi di reazione al fuoco per i prodotti da costruzione da impiegarsi nelle opere per le quali è prescritto il requisito della sicurezza in caso di incendio

NORMATIVA RELATIVA AD ELEMENTI PER STRUTTURE MURARIE, PARTIZIONI INTERNE E TAMPONAMENTI – STRUTTURALE

- UNI EN 1996 1/1 Eurocodice 6
Progettazione delle strutture di muratura
Parte 1-1: regole generali per strutture di muratura armata e non armata

- UNI EN 1996-2 Eurocodice 6
Progettazione delle strutture di muratura – Parte 2: considerazioni progettuali, selezione dei materiali ed esecuzione delle murature
- UNI EN 1996-3 Eurocodice 6
Progettazione delle strutture di muratura – Parte 3: metodi di calcolo semplificato per strutture di muratura non armata
- UNI EN 1998-1 Eurocodice 6
Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20/03/03-n.3274
Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica
 - Criteri per l'individuazione delle zone sismiche – individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone
 - Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici
 - Norme tecnico per il progetto sismico dei ponti
 - Norme tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 03/05/05-n.3431
Ulteriori modifiche ed integrazioni all'ordinanza del presidente del consiglio dei ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003, recante “Primi elementi in materia di criteri generali per le classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”
 - Testo integrato dell'Allegato 2 – Edifici – all'Ordinanza 3274 come modificato dall'OPCM 3431 del 3.5.05
 - Testo integrato dell'Allegato 3 – Ponti – all'Ordinanza 3274 come modificato dall'OPCM 3431 del 3.5.05
- D.M. 14/09/2005 Parte prima/seconda/terza/quarta/decreto
Norme tecniche per le costruzioni
- D.M. 14/01/2008 - Indice/Cap.1/2/3/ 4/5/6/7/8/9/10/ 11/12/All. A-B
Pericolosità/Copertina tab.1/tab.2 “NUOVE” NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI"

Testo aggiornato e approvato (Ministero Infrastrutture, Ministero dell'Interno, Capo del dipartimento delle protezione Civile) che sostituisce quello di cui al D.M. 14 Settembre 2005.

- Circolare n.64 del 2/2/1974
Istruzione relativo alle norme per le costruzioni prefabbricate
- D.M. 02/07/1981
Normativa per le riparazioni ed il rafforzamento degli edifici danneggiati dal sisma nelle regioni basilicata, Campania e Puglia
- Circolare n. 21745 del 30/07/1981 legge 14/05/1981 n. 219 – art. 10
Istruzioni relative alla normativa tecnica per la riparazione ed il rafforzamento degli edifici in muratura danneggiati dal sisma
- D.M. 20/11/1987
Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e loro consolidamento
- Decreto 03/12/0987
Norme tecniche per le costruzioni prefabbricate
- Circolare n. 30787 del 04/01/1989 D.M. 20/11/1987
Istruzioni in merito alle norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura per il loro consolidamento
- D.M. 16/01/1996
Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- D.M. 16/01/1996
Norme tecniche relative ai “Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”
- Circolare n. 21745 del 04/07/1996 D.M. 16/01/1996
Istruzioni per l’applicazione delle “Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi” di cui al decreto ministeriale 16 Gennaio 1996
- Circolare 65/AA.GG. del 10/04/1997
Istruzione per l’applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche” di cui al D.M. 16 Gennaio 1996
- Legge n. 1086 del 05/11/1971
Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica

- Legge n. 64 del 02/02/1974
Provvedimento per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche

NORMATIVA RELATIVA AD ELEMENTI PER STRUTTURE MURARIE, PARTIZIONI INTERNE E TAMPONAMENTI – PROTEZIONE AL FUOCO

- UNI EN 1996-1-2 Eurocodice 6
Progettazione delle strutture di muratura - Parte 1-2: regole generali – progettazione strutturale contro l'incendio
- UNI 9502
Calcolo della resistenza al fuoco degli elementi costruttivi
- D.M. 16/02/2007
Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione
- D.M. 09/03/2007
Prestazione di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del corpo nazionale dei vigili del fuoco
- Circolare n. 1968 del 15/02/2008
Pareti di muratura portante resistenti al fuoco

NORMATIVA RELATIVA AD ELEMENTI PER STRUTTURE MURARIE, PARTIZIONI INTERNE E TAMPONAMENTI – ACUSTICA

- Legge 26/10/95 n.447
Progettazione acustica
- D.P.C.M. 05/12/97
Determinazione dei requisiti acustici degli edifici
- D.P.C.M. 01/03/91
Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno
- Circolare n. 1769 del 30/04/1996
Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici nelle costruzioni edilizie

- Circolare n. 3150 del 22/05/1967
Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici negli edifici scolastici

NORMATIVA RELATIVA AD ELEMENTI PER STRUTTURE MURARIE, PARTIZIONI INTERNE E TAMPONAMENTI – TERMICI

- UNI EN 1745
Metodi per determinare i valori termici di progetto
- D.M. 02/04/1998
Modalità di certificazione delle caratteristiche e delle prestazioni energetiche degli edifici e degli impianti ad essi connessi
- D. Lgs. 19/08/2005 n. 192
Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia (G.U. n. 222 del 23/09/2005 – suppl. ordinario n. 158)
- D.M. 27/07/2005
Norma concernente il regolamento d'attuazione della legge 9 Gennaio 1991, n. 10 (art. 4, commi 1 e 2), recante: "Norme per l'attuazione del piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia"

D. Lgs. 29/12/2006 n. 311
Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 Agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia

NORMATIVA RELATIVA AD ELEMENTI PER SOLAI

- UNI 9730/1/2/3
Edilizia – Elementi di laterizio per solai – Terminologia e sistemi di classificazione – Limiti di accettazione – Metodi di prova
- D.M. 14/01/1985
Classificazione alla reazione al fuoco ed all'omologazione dei materiali

- D.M. 15/03/2005 G.U. n. 73 del 30/03/2005
Requisiti di reazione al fuoco dei prodotti da costruzione installati in attività disciplinate da specifiche disposizioni tecniche di prevenzione incendi in base al sistema di classificazione europeo
- D.M. 10/03/2005 G.U. n. 73 del 30/03/2005
Classi di reazione al fuoco per i prodotti da costruzione da impiegarsi nelle opere per le quali è prescritto il requisito della sicurezza in caso di incendio
- REGIO DECRETO 16/11/1939 – XVIII
Norme per l'accettazione e per il collaudo dei materiali da costruzione
- D.M. 14/09/2005 Parte prima/seconda/terza/quarta/decreto
Norme tecniche per le costruzioni (testo unico per le costruzioni)

NORMATIVA RELATIVA AD ELEMENTI PER SOLAI – STRUTTURALE

- Legge n. 1086 del 05/11/1971
Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica
- D.M. 09/01/1996
Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche
- Circolare n. 252 Del 15/10/1996 (D.M. 09/01/1996)
Istruzioni relative alle nuove norme tecniche per il Calcestruzzo Armato e Strutture Metalliche
- UNI EN 1992-1-1 Eurocodice 2
Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: regole generali e regole per gli edifici
- UNI EN 1998-1 Eurocodice 8
Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20/03/03-n.3274
Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica
 - Criteri per l'individuazione delle zone sismiche – individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone

- Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici
 - Norme tecnico per il progetto sismico dei ponti
 - Norme tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni
 - Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 03/05/05-n.3431
- Ulteriori modifiche ed integrazioni all'ordinanza del presidente del consiglio dei ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per le classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"
- Testo integrato dell'Allegato 2 – Edifici – all'Ordinanza 3274 come modificato dall'OPCM 3431 del 3.5.05
 - Testo integrato dell'Allegato 3 – Ponti – all'Ordinanza 3274 come modificato dall'OPCM 3431 del 3.5.05

D.M. 14/09/2005 Parte prima/seconda/ terza/quarta/decreto

- Norme tecniche per le costruzioni (testo unico per le costruzioni)
 - D.M. 14/01/2008 Indice/Cap.1/2/3/4/5/6/7/8/9/10/11/12/All. A-B
- Pericolosità/Copertina tab.1/tab.2 "NUOVE" NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI
 Testo aggiornato e approvato (Ministero Infrastrutture, Ministero dell'Interno, Capo del dipartimento delle protezione Civile) che sostituisce quello di cui al D.M. 14 Settembre 2005.
- D.M. 02/07/1981
- Normativa per le riparazioni ed il rafforzamento degli edifici danneggiati dal sisma nelle regioni basilicata, Campania e Puglia
- Circolare n. 21745 del 30/07/1981 legge 14/05/1981 n. 219 – art. 10
- Istruzioni relative alla normativa tecnica per la riparazione ed il rafforzamento degli edifici in muratura danneggiati dal sisma
- D.M. 20/11/1987
- Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e loro consolidamento
- Decreto 03/12/1987
- Norme tecniche per le costruzioni prefabbricate
- Circolare n. 30787 del 04/01/1989 D.M. 20/11/1987
- Istruzioni in merito alle norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura per il loro consolidamento

- D.M. 16/01/1996
Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- D.M. 16/01/1996
Norme tecniche relative ai “Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”
- Circolare n. 156 del 04/07/1996 D.M. 16/01/1996
Istruzioni per l’applicazione delle “Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi” di cui al decreto ministeriale 16 Gennaio 1996
- Circolare 65 del 10/04/1997 D.M. 16/01/1996
Istruzione per l’applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche” di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

NORMATIVA RELATIVA AD ELEMENTI PER SOLAI – PROTEZIONE AL FUOCO

- UNI EN 1992/1-2 Eurocodice 2
Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-2: regole generali – progettazione strutturale contro l’incendio
- UNI 9502
Calcolo della resistenza al fuoco degli elementi costruttivi
- D.M. 16/02/2007
Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione
- D.M. 09/03/2007
Prestazione di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del corpo nazionale dei vigili del fuoco

NORMATIVA RELATIVA AD ELEMENTI PER SOLAI – ACUSTICA

- Legge 26/10/95 n.447
Progettazione acustica

- D.P.C.M. 05/12/97
Determinazione dei requisiti acustici degli edifici
- D.P.C.M. 01/03/91
Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno
- Circolare n. 1769 del 30/04/1996
Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici nelle costruzioni edilizie
- Circolare n. 3150 del 22/05/1967
Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici negli edifici scolastici

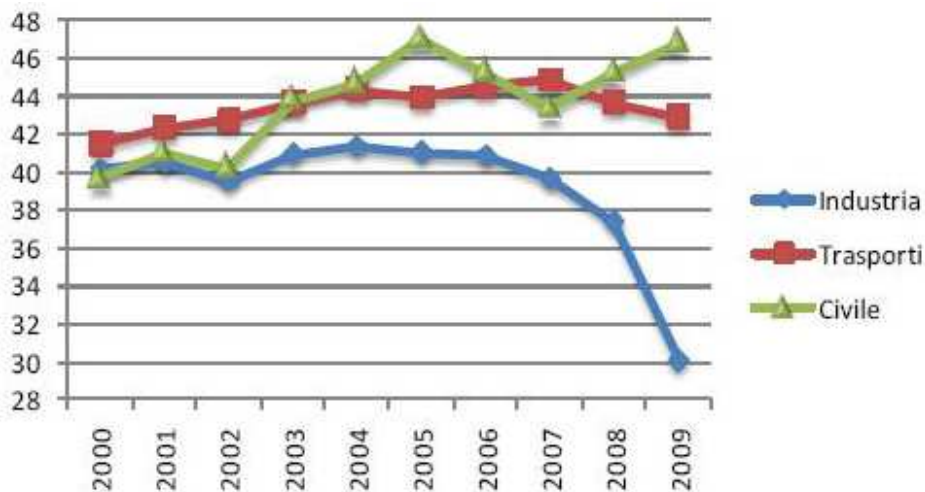
NORMATIVA RELATIVA AD ELEMENTI PER SOLAI – TERMICI

- Decreto M.I.C.A. - 2 Aprile 1998
Modalità di certificazione delle caratteristiche e delle prestazioni energetiche degli edifici e degli impianti ad essi connessi
 - UNI 10355
Murature e solai – Valori della resistenza termica e metodo di calcolo
 - Decreto 02/04/1998
Modalità di certificazione delle caratteristiche e delle prestazioni energetiche degli edifici e degli impianti ad essi connessi
 - D. Lgs. 19/08/2005 n. 192
Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia (G.U. n. 222 del 23/09/2005 – Suppl. Ordinario n. 158)
 - D.M. 27/07/2005
Norma concernente il regolamento d'attuazione della legge 9 Gennaio 1991, n. 10 (art. 4, commi 1 e 2), recante: "Norme per l'attuazione del piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia"
- D. Lgs. 29/12/2006 n. 311
Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 Agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia.

5.4.1. Normativa energetica

I problemi di sicurezza dell'approvvigionamento energetico e l'attenzione sull'influenza antropica rispetto ai cambiamenti climatici sono temi che sempre più sono affrontati dall'opinione pubblica. È oramai accertata la convinzione che sia necessario intervenire sulle attuali modalità di consumo delle risorse energetiche per poter garantire un equilibrato sviluppo sociale ed economico dell'umanità.

Negli ultimi tempi sono state promosse a livello europeo e nazionale una serie di iniziative mirate alla riduzione dei consumi energetici e allo sviluppo delle fonti rinnovabili e quindi alla riduzione delle emissioni di anidride carbonica; un settore prioritario su cui agire è proprio l'edilizia, in quanto gli edifici comportano il 40% del consumo totale di energia, nettamente superiore al consumo dell'industria 28% e dei trasporti 32%. Scopo del presente di questa parte di elaborato è dunque fornire una rassegna delle attuali politiche dell'uso razionale dell'energia e dello sfruttamento delle fonti



rinnovabili per il settore dell'edilizia. Per meglio comprendere il quadro generale è proposta una sintesi sulle recenti evoluzioni della politica energetica europea e nazionale.

Grafico.3. Elaborazione ENEA su dati Mse

5.4.2. La politica energetica UE

L'Unione Europea ha recentemente varato una serie di provvedimenti che fissano una strategia di politica energetica volta a ridurre le emissioni di gas clima alterni.

La Commissione Europea ha emesso la Direttiva Energy Performance of Buildings (EPBD) 2002/91/CE, del 16 dicembre 2002, che impone alle singole nazioni l'emanazione di disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative per il miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici.

La Direttiva europea EPBD 2002/91/CE è nata proprio con lo scopo di promuovere uno strumento che contribuisca a invertire la tendenza alla crescita di emissioni di CO₂ nel rispetto dei vincoli posti dal

Protocollo di Kyoto (riduzione delle emissioni europee di gas serra dell'8%, rispetto ai livelli del 1990).

La Direttiva ha delegato ciascuno stato membro della Unione Europea a provvedendo, entro il 4 gennaio del 2006, l'introduzione di un sistema di certificazione del rendimento energetico e l'applicazione di norme minime negli edifici di nuova costruzione e in ristrutturazione (con superficie utile superiore a 1.000 m²).

Le misure e le soluzioni tecniche da adottare variano a seconda del clima e delle risorse territoriali; per questo la Direttiva prevede che gli stati membri introducano proprie regole sulle procedure di controllo, sulle modalità di calcolo e verifica. Le norme tecniche dovranno dare indicazioni su il metodo, uniforme, per calcolare in maniera integrata l'energia globale usata negli edifici (devono essere definiti i consumi di energia primaria e le emissioni di CO₂ in relazione ai diversi tipi di combustibile o fonte energetica usati), ossia per calcolare l'energia che entra nell'edificio per riscaldamento, raffrescamento, illuminazione, ventilazione e acqua calda sanitaria (considerando l'ottimizzazione conseguibile tramite opportuni sistemi di automazione, regolazione e controllo), tenendo conto delle prestazioni termiche dei componenti edilizi, degli apporti solari e dei guadagni termici interni, del livello di ventilazione ed infiltrazioni, delle condizioni ambientali interne e climatiche esterne.

Con la decisione della Commissione Europea del 9 marzo 2007 sono stati resi vincolanti una serie di obiettivi per gli Stati membri da raggiungere entro il 2020:

- 1- Il 20% del mix energetico complessivo dovrà provenire da fonti rinnovabili;*
- 2- Risparmiare il 20% del consumo totale di energia primari;*
- 3- Ridurre del 20% le emissioni di CO₂ rispetto ai livelli del 1990 rilanciando gli impegni assunti con il Protocollo di Kyoto.*

La strategia è accompagnata da specifici piani di settore, tra cui risulta di particolare interesse il "Piano d'Azione per l'Efficienza Energetica 2007 - 20013", che prevede l'applicazione di norme minime di rendimento energetico ad un ampio ventaglio di apparecchiature e prodotti (dagli elettrodomestici come i frigoriferi e i condizionatori fino alle pompe e ai ventilatori industriali), per gli edifici e per i servizi energetici. Insieme alle classi di efficienza e ai sistemi di etichettatura, l'introduzione di norme minime di rendimento energetico rappresenta uno strumento importante per eliminare dal mercato i prodotti che

consumano troppo, per informare i consumatori sui prodotti più efficienti e per trasformare il mercato rendendolo più efficiente sotto il profilo energetico.

Per promuovere la conoscenza e l'informazione in materia di risparmio energetico, nell'ultimo decennio si sono affermati in Europa diversi sistemi di certificazione energetica degli edifici, in alcuni casi veicolati in modo cogente da norme nazionali, in altri casi introdotti in forma volontaria per l'ottenimento di incentivi. Proprio le certificazioni energetiche hanno dato avvio a una domanda di mercato di soluzioni tecniche energeticamente efficienti, che ha stimolato i produttori di componenti e i costruttori di edifici a migliorare continuamente la loro produzione, determinando così un abbassamento dei prezzi di tecnologie ormai non più elitarie e, soprattutto, una innovazione continua nell'ambito del risparmio energetico.

Gli specifici standard esistenti attualmente in Europa danno priorità all'efficienza del comportamento energetico in regime invernale, dunque al solo contenimento dei consumi dovuti al riscaldamento.

Con la comunicazione della Commissione del 10 gennaio 2007 (Tabella di marcia per le energie rinnovabili) è stata presentata la strategia a lungo termine in materia di energie rinnovabili nell'Unione europea che si pone il duplice obiettivo di accrescere la sicurezza degli approvvigionamenti energetici e di ridurre le emissioni di gas a effetto serra. Nel 2005 la ripartizione delle diverse fonti energetiche rinnovabili prodotte nell'UE era la seguente: 66,1% per la biomassa, 22,2% per l'energia idraulica, 5,5% per l'energia eolica, 5,5% per l'energia geotermica e 0,7% per l'energia solare (termica e fotovoltaica). Nel 1997 l'UE si era fissata l'obiettivo di portare al 12% la quota delle fonti energetiche rinnovabili sul consumo interno lordo entro il 2010.

Conformemente alla direttiva 2001/77/CE, tutti gli Stati membri hanno fissato obiettivi nazionali per il consumo di elettricità prodotta da fonti energetiche rinnovabili per raggiungere un obiettivo medio europeo pari a 21% del totale dell'elettricità consumata prodotta da fonti energetiche rinnovabili.

La Danimarca è stata la prima nazione ad introdurre la certificazione energetica degli edifici nel 1981; nel 2000 si è dotata di un piano operativo con l'obiettivo di ridurre fino a 45 kWh/m²a il consumo specifico per il riscaldamento degli edifici.

Nel febbraio 2002 in Germania è entrato in vigore un decreto sul risparmio energetico, secondo cui tutti gli edifici dovranno essere progettati per avere un basso consumo energetico (25 - 60 kWh/m²a).

In Austria il limite massimo di consumo annuo di energia per accedere a incentivi è passato dal valore di 75 kWh/m²a del 1995 a quello di 50 kWh/m²a del 2004.

In Svizzera per accedere al marchio Minergie (ossia minimal energie) gli edifici residenziali non devono superare un fabbisogno termico per riscaldamento di 45 kWh/m²a per quelli di nuova costruzione e di 90 kWh/m²a per quelli costruiti prima del 1990.

In questo quadro l'Italia con la legge 10/91 introduceva limiti normativi di fabbisogno energetico e la certificazione energetica come strumento di controllo.

Benché alcuni Stati membri siano effettivamente sul punto di realizzare il loro obiettivo, la maggioranza tuttavia è in ritardo, e nel 2010 la quota di elettricità prodotta da fonti energetiche rinnovabili è stata pari soltanto al 19%. Alla luce di questi parziali insuccessi l'attuale tabella di marcia prevede un obiettivo generale obbligatorio pari ad una quota del 20% delle fonti energetiche rinnovabili nel consumo interno lordo entro il 2020.

La Commissione proporrà misure per migliorare il mercato interno ed eliminare gli ostacoli allo sviluppo delle energie rinnovabili nei settori dell'elettricità e del riscaldamento e raffreddamento, tra l'altro mediante l'alleggerimento degli oneri amministrativi, il miglioramento della trasparenza e della diffusione delle informazioni, l'adeguamento e l'aumento del numero degli impianti e dei sistemi

5.4.3. Il contesto italiano

Come emerge dal "Rapporto Energia e Ambiente" curato dall'ENEA, il consumo di energia primaria in Italia è fortemente dipendente dai prodotti petroliferi (43 %) e dal gas naturale (36%), i combustibili fossili rappresentano il 9% e le fonti rinnovabili il 7%; a questi dati vanno aggiunti le importazioni di energia elettrica dagli altri paesi europei. I dati dal 2002 al 2005 mettono in evidenza un aumento continuo dei consumi totali di energia; l'aumento della domanda di energia riguarda soprattutto i settori residenziale e terziario ed è causato essenzialmente da fattori climatici. In particolare, nel 2003, tali consumi sono aumentati in maniera sostenuta con un incremento sia dei consumi di gas per il riscaldamento ambientale sia dei consumi elettrici per la climatizzazione estiva.

Il Governo italiano ha presentato il 19 febbraio 2007 il "Nuovo piano sull'efficienza energetica, sulle rinnovabili e sull'eco industria", un insieme di misure presenti e future volte a raggiungere la sicurezza e la compatibilità ambientale del sistema energetico nazionale. In sintesi il piano mira a:

- incrementare la domanda di prodotti ecocompatibili e che risparmiano energia;
- sviluppare l'offerta tramite una forte industria nazionale del settore.

Le misure volte a incentivare nello specifico l'edilizia sono incentrate attorno alla recente revisione del Dlgs 192/2005 sul rendimento energetico in edilizia.

5.4.4 Il Decreto legislativo del 19 agosto 2005, n. 192 e successive modifiche

Con il Decreto legislativo del 19 agosto 2005, n. 192, di “Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell’edilizia” sono stabiliti i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorire lo sviluppo, la valorizzazione e l’integrazione delle fonti rinnovabili e la diversificazione energetica.

Nel Decreto Legislativo n. 192 vengono richiamati i requisiti minimi per l’efficienza energetica degli edifici, per ora limitatamente al fabbisogno di energia per il riscaldamento invernale. Da un lato si favorisce l’approccio prestazionale dove vengono indicati i valori limite del fabbisogno annuo di energia primaria per la climatizzazione invernale espressi in kWh/m²a, definiti in base alla zona climatica e al fattore di forma dell’edificio, ossia al rapporto superficie dell’involucro disperdente/volume riscaldato. Dall’altro lato, e in alternativa alla verifica del fabbisogno energetico limite, si impongono valori massimi di trasmittanza termica (delle strutture opache verticali e orizzontali, delle chiusure trasparenti e dei vetri), differenziati per zona climatica e con due soglie temporali di entrata in vigore, a partire da gennaio 2006 e a partire da gennaio 2009. Le soglie temporali hanno lo scopo di consentire al mercato delle costruzioni un adattamento progressivo a nuove soluzioni tecniche di involucro che, fondamentalmente, si concretizzeranno in un adeguamento prestazionale di soluzioni tecniche già in uso.

I valori di trasmittanza termica non sono i soli responsabili dell’ammontare dei consumi energetici, ma lo sono anche il fattore di forma dell’edificio, l’orientamento rispetto al percorso solare, il posizionamento della massa termica dell’involucro, il rapporto tra superfici vetrate e superfici opache, ecc., soprattutto in previsione dei significativi effetti sulle condizioni estive.

Per quanto riguarda le chiusure trasparenti, da un lato le differenze di trasmittanza fra le diverse zone climatiche sono troppo accentuate, dall’altro, i sistemi di chiusura trasparente offrono oggi opportunità prestazionali.

Per quanto riguarda il rispetto dei limiti di fabbisogno di energia primaria, vengono imposti valori diversificati in relazione al variare del fattore di forma (rapporto superficie dell’involucro/volume dell’edificio). Per

esempio, a seconda del fattore di forma dell’edificio, esiste una differenza notevole di valori di trasmittanza termica adeguati per rientrare in un determinato limite di fabbisogno energetico per la climatizzazione invernale. All’estero, il limite di fabbisogno energetico è unico per tutte le tipologie edilizie: in questo modo il fattore di forma è uno dei parametri di progetto per riuscire a rispettare i limiti normativi imposti;

di conseguenza il progettista è incentivato all'ottimizzazione del fattore di forma della sua costruzione (cioè a ricercare il minor rapporto tra involucro disperdente e volume) oppure, nel caso in cui il volume edilizio "predeterminato" dal contesto non abbia un efficiente fattore di forma, a mettere in atto strategie alternative di efficienza energetica (ad esempio, un maggiore isolamento dell'involucro).

Per rendere operativo sotto tutti gli aspetti il Decreto Legislativo 192/2005 occorre i decreti attuativi indispensabili per la definizione delle modalità applicative, in particolare:

- I sistemi di calcolo dei consumi energetici (climatizzazione invernale ed estiva, fabbisogno di energia per l'acqua calda sanitaria, ventilazione ed illuminazione);
- Le linee guida per la certificazione energetica degli edifici.

Nel frattempo è stato emanato il Decreto Legislativo 29 dicembre 2006, n. 311 recante "Disposizioni correttive ed integrative al Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192", entrato in vigore il 2 febbraio 2007. Da tale data la certificazione energetica è diventata obbligatoria per: gli edifici di nuova costruzione e nel trasferimento a titolo oneroso di taluni beni immobili secondo dei criteri temporali (riportati nella seguente sintesi del decreto).

La metodologia cui si fa riferimento per la redazione delle Linee Guida è quella UNI, prevedendo margini di flessibilità in relazione alle specificità delle diverse Regioni, le quali dovranno comunque modificare i propri standard al fine di armonizzare la normativa locale con quella nazionale (ad esempio l'Agenzia CasaClima della Provincia di Bolzano ha preparato un testo che si accorda con gli indirizzi nazionali).

Si prevede che nel modello di attestato di certificazione energetica (che sarà allegato alle Linee Guida) la prestazione energetica globale dell'edificio sarà schematizzata attraverso un "cruscotto", ossia uno schema in cui il livello di efficienza energetica è indicato da una lancetta; sullo stesso schema sarà indicato anche il livello di prestazione energetica raggiungibile nel breve periodo.

Anche per quanto riguarda le caratteristiche del soggetto che certifica l'edificio, occorrerà trovare un accordo tra le norme nazionali e quelle regionali, e tra le Regioni.

Altri aspetti positivi introdotti dal Decreto Legislativo 192/2005 integrato con il Decreto Legislativo 311/2006

riguardano:

- Per tutti i nuovi edifici diventa obbligatorio l'uso di fonti rinnovabili (solare termico o geotermia) per la produzione di almeno il 50% dell'acqua calda sanitaria, e di impianti fotovoltaici;

- Per gli immobili nuovi e nel caso di ristrutturazioni di edifici di superficie utile superiore a 1000 metri quadri, sarà obbligatorio installare sistemi schermanti esterni, al fine di contenere il consumo energetico per la climatizzazione estiva;
- Le delibere condominiali sugli interventi di miglioramento e certificazione energetica sono valide se adottate con maggioranza semplice delle quote condominiali;
- Obbligo per le Regioni di considerare, fra gli strumenti di pianificazione ed urbanistici di competenza, le soluzioni necessarie all'uso razionale dell'energia e all'uso di fonti rinnovabili, con indicazioni anche in ordine all'orientamento e alla conformazione degli edifici da realizzare, per massimizzare lo sfruttamento della radiazione solare;
- Nella pianificazione urbanistica i comuni devono obbligatoriamente collegare le scelte insediative con soluzioni per l'efficienza energetica.

5.5. Criteri progettuali

La principale caratteristica morfologica di un edificio in muratura portante è, ovviamente, la presenza di setti murari destinati a sopportare i carichi agenti sull'edificio, ma tale tipo di edificio va concepito come un sistema tridimensionale, come lo stesso decreto sulle strutture murarie (D.M. 20/11/87) suggerisce.

Tale sistema è costituito da singoli elementi collegati tra loro e le fondazioni e disposti in modo da resistere alle azioni orizzontali e verticali.

Gli elementi che lo compongono sono le pareti appunto (distinte tra portanti, ovvero prevalentemente sollecitate da azioni verticali, e di controvento, sollecitate prevalentemente da azioni orizzontali) ed i solai piani. Sempre il decreto richiede poi che tutti muri debbano avere, per quanto possibile, sia funzione portante che di controventamento, suggerendo così la realizzazione di solai funzionanti 'a piastra', appoggiati su tutti i lati.

I laterizi per murature vengono classificati a seconda del grado di foratura e delle dimensioni in:

MATTONI PIENI	generalmente non forati con al massimo una foratura fino al 15% dell'area Massa volumica (densità) compresa tra 1300 e 1600 kg/m ³ dimensione uni 5,5x12x25
BLOCCHI SEMIPIENI	Foratura tra il 15% e il 45% dell'area Massa volumica (densità) tra 800 e 1000 kg/m ³ dimensione uni 5,5x12x25
BLOCCHI FORATI	Foratura tra il 45% e il 55% dell'area Massa volumica (densità) tra 700 e 800 kg/m ³ dimensione doppio uni 12x12x25
BLOCCHI SEMIFORATI	Foratura < 45% Massa volumica (densità) tra 800 e 900 kg/m ³
BLOCCHI FORATI	Foratura tra il 45% e il 55% dell'area Massa volumica (densità) tra 700 e 800 kg/m ³

Tab.14. Classificazione laterizi

La produzione media annua dell'industria laterizia italiana, concentrata soprattutto in Veneto, Emilia e Toscana, è sull'ordine dei 20.000.000 di tonnellate, per circa un quarto rappresentata da elementi per solai.

Le dimensioni dei mattoni UNI, standardizzato, sono 5.5x12x25 cm, pur esistendo ancora produzioni con variazioni dimensionali.

In conformità al R.D. 16/11/1939 n. 2233, ogni elemento in laterizio deve avere dimensioni regolari, con minima tolleranza, una composizione interna uniforme, dimostrare secondo antica regola empirica “ suono chiaro e limpido al colpo di martello”, deve presentare minima porosità, rapida asciugatura, buona resistenza agli agenti atmosferici e alle soluzioni saline, adeguata resistenza meccanica e non deve screpolarsi al fuoco.



Fig.77. Classificazione laterizi

5.5.1. Suddivisione del territorio italiano in zone climatiche

La suddivisione del territorio italiano in zone climatiche è da attribuirsi al DPR n°412 del 26-08-1993.

Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n. 10, un decreto attuativo della legge 10/91, la legge quadro in materia di uso razionale dell'energia e di risparmio energetico sul territorio nazionale.

Le zone climatiche sono sei, vengono identificate dalle lettere alfabetiche [A, B, C, D, E, F] e ciascuna è definita in funzione dei valori assunti dai gradi-giorno (GG). I gradi giorno sono specifici di ogni località, indipendentemente dalla localizzazione geografica della stessa. Ogni Comune italiano è connotato da uno specifico valore della grandezza gradi-giorno.

Dal punto di vista matematico i gradi-giorno di una località si calcolano come la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, convenzionalmente fissata a 20°C, e la temperatura media esterna giornaliera. Ne consegue che il numero di gradi-giorno aumenta al diminuire della temperatura esterna (generalizzando: a località fredde corrispondono valori di gradi-giorno elevati; a località calde corrispondono valori di gradi-giorno bassi). La temperatura media esterna giornaliera è influenzata dai fattori geografici, l'altezza sul livello del mare, la protezione dai venti dominanti, la vicinanza al mare o a specchi d'acqua, ecc. In virtù della conformazione geografica del territorio italiano (zone montagnose adiacenti a zone pianeggianti e/o lacustri e/o marine), dal punto di vista pratico la distribuzione dei gradi-giorno, caratteristici di ogni comune d'Italia, è "a pelle di leopardo".

Una volta che ad ogni Comune d'Italia è stato attribuito un numero di gradi-giorno, i Comuni sono stati accorpati per zone climatiche, ovvero per categorie di numero di gradi-giorno.

Nella fattispecie:

I comuni che possiedono un numero di gradi-giorno non superiore a 600 sono compresi nella zona climatica A.

I comuni che possiedono un numero di gradi-giorno maggiore di 600 e non superiore a 900 sono compresi nella zona climatica B.

I comuni che possiedono un numero di gradi-giorno maggiore di 900 e non superiore a 1.400 sono compresi nella zona climatica C.

I comuni che possiedono un numero di gradi-giorno maggiore di 1.400 e non superiore a 2.100 appartengono alla zona climatica D.

I comuni che possiedono un numero di gradi-giorno maggiore di 2.100 e non superiore a 3.000 appartengono alla zona climatica E.

I comuni che possiedono un numero di gradi-giorno maggiore di 3.000 appartengono alla zona climatica F.

Per le zone climatiche valgono le stesse osservazioni fatte per i gradi-giorno per cui, in prima battuta, la peculiare conformazione geografica dell'Italia fa sì che anche la distribuzione delle zone climatiche sul territorio non sia omogeneamente distribuita. Da cui si giustifica anche il fatto che Comuni ubicati nella stessa regione e/o nella stesso bacino di utenza provinciale siano connotati da una zona climatica differente.

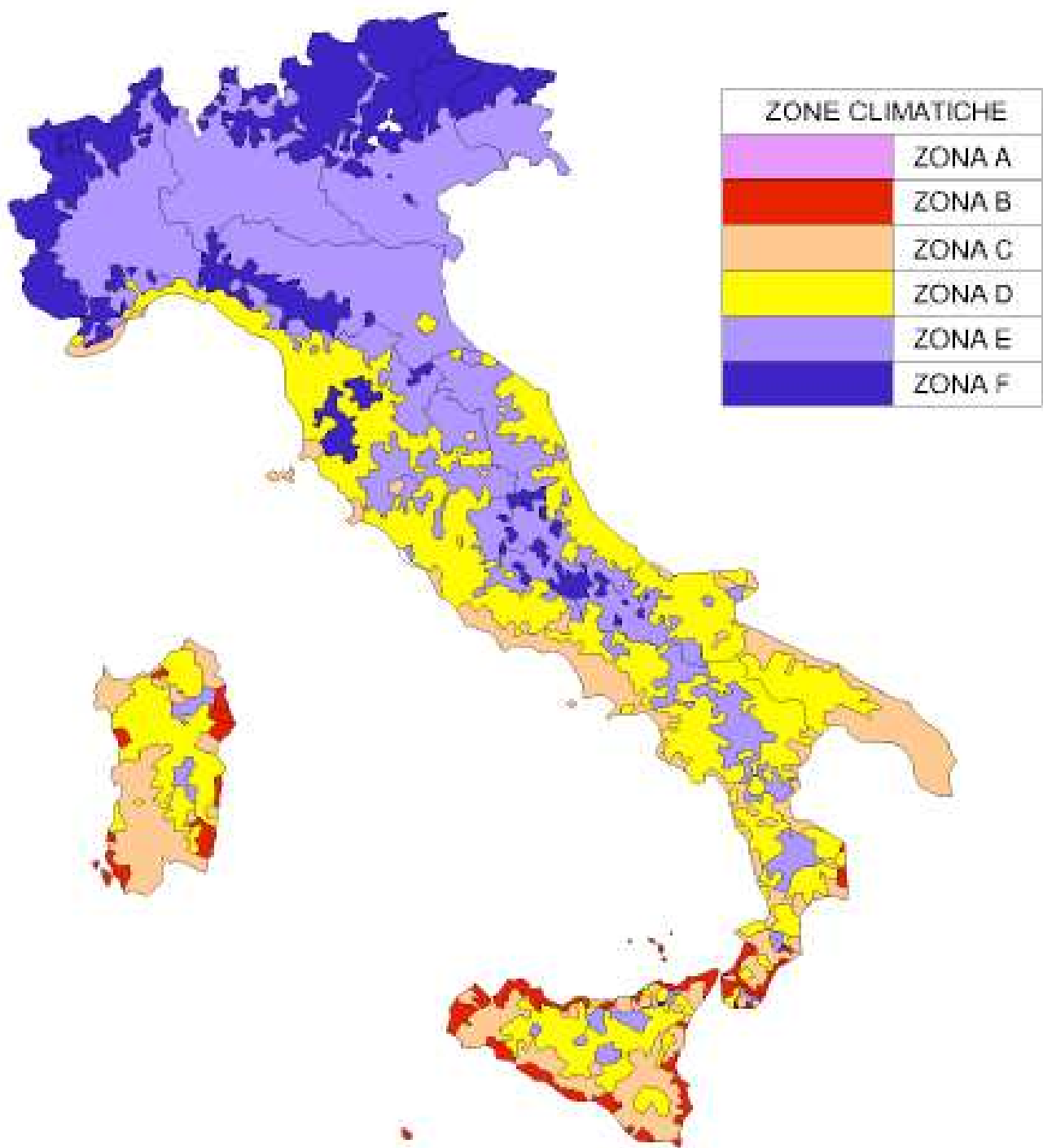


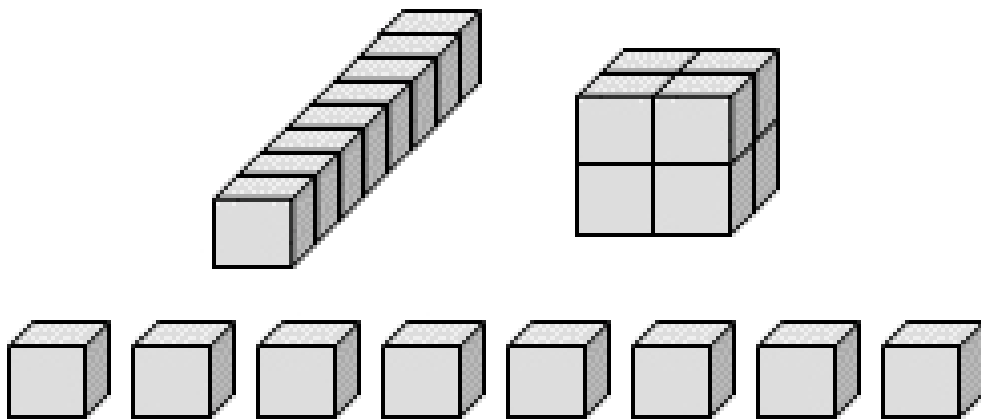
Fig.78. Zone climatiche

5.5.2. Rapporto di forma dell'edificio

Il decreto legislativo 311/2006, che aggiorna il dl 192/2005 introduce dei limiti di EPI (indice di prestazione energetica invernale) per:

- Nuove costruzioni;
- Ristrutturazione integrale degli elementi edilizi costituenti l'involucro di edifici esistenti con $S > 1000 \text{ m}^2$;
- Demolizione e ricostruzione in MSG di edifici esistenti con $S_u > 1000 \text{ m}^2$

L'EP è l'indice di prestazione energetica, ovvero il consumo di energia primaria per il riscaldamento riferito all'unità di superficie (kWh/m^2) o di volume lordo (kWh/m^3).



Tab.79. Forme tipologiche degli edifici

In particolare, dal 1° gennaio 2010, per edifici residenziali di classe E1 esclusi collegi, conventi, case di pena e caserma devono essere rispettati i seguenti valori:

RAPPORTO DI FORMA DELL'EDIFICIO S/V	ZONA CLIMATICA									
	A	B		C		D		E		F
	Fino a 60gg	Fino a 601 gg	Fino a 900 gg	Fino a 901 gg	Fino a 1400 gg	Fino a 1401 gg	Fino a 2100 gg	Fino a 2101 gg	Fino a 3000 gg	Fino a 3000 gg
≤0.2	10	10	15	15	25	25	42	40	55	55
≤0.9	45	45	60	60	85	85	110	110	145	145

Tab.15. Valori limite dal 1° gennaio 2007 dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale EPI (KW/m²anno)

RAPPORTO DI FORMA DELL'EDIFICIO S/V	ZONA CLIMATICA									
	A	B		C		D		E		F
	Fino a 60gg	Fino a 601 gg	Fino a 900 gg	Fino a 901 gg	Fino a 1400 gg	Fino a 1401 gg	Fino a 2100 gg	Fino a 2101 gg	Fino a 3000 gg	Fino a 3000 gg
≤0.2	9.5	9.5	14	14	23	23	37	37	52	52
≤0.9	41	41	55	55	78	78	100	133	133	133

Tab.16. Valori limite dal 1° gennaio 2008 dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale EPI (KW/m²anno)

RAPPORTO DI FORMA DELL'EDIFICIO S/V	ZONA CLIMATICA									
	A	B		C		D		E		F
	Fino a 60gg	Fino a 601 gg	Fino a 900 gg	Fino a 901 gg	Fino a 1400 gg	Fino a 1401 gg	Fino a 2100 gg	Fino a 2101 gg	Fino a 3000 gg	Fino a 3000 gg
≤0.2	8.5	8.5	12.8	12.8	21.3	21.3	34	34	46.8	46.8
≤0.9	41	41	55	55	78	78	100	133	133	133

Tab.17. Valori limite dal 1° gennaio 2008 dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale EPI (KW/m²anno)

La questione del fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva viene affrontata senza una verifica specifica dei fabbisogni, ma viene richiesto di valutare l'efficacia dei sistemi schermanti delle superfici vetrate al fine di ridurre l'apporto di calore per irraggiamento solare; di favorire, attraverso la distribuzione degli spazi, la ventilazione naturale oppure, laddove la ventilazione naturale non sia efficace, di prevedere sistemi di ventilazione meccanica; di verificare, in tutte le zone climatiche ad esclusione della F, per le località nelle quali il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale, nel mese di massima insolazione estiva, $I_{m,s}$, sia maggiore o uguale a 290 W/m^2 (tab. 3), che il valore della massa superficiale M_s delle pareti opache verticali, orizzontali o inclinate sia superiore a 230 kg/m^2 . Per quest'ultimo punto viene specificato che gli effetti positivi che si ottengono con il rispetto dei valori di massa superficiale delle pareti opache possono essere raggiunti, in alternativa, con l'utilizzo di tecniche e materiali, anche innovativi, che permettano di contenere le oscillazioni della temperatura in funzione dell'andamento dell'irraggiamento solare. Questa precisazione è una implicita ammissione che l'obiettivo da ottenere è il contenimento delle oscillazioni di temperatura (calcolabile, in prima analisi, tramite i parametri di attenuazione e sfasamento, secondo le procedure della EN 13786).

ZONE CLIMATIC HE	Valori limite trasmittanza termica U delle strutture opache verticali ($\text{W/m}^2\text{K}$)		
	1 gennaio 2006	31 dicembre 2008	1 gennaio 2010
A	0.85	0.72	0.56
B	0.64	0.54	0.43
C	0.57	0.46	0.36
D	0.50	0.40	0.30
E	0.46	0.37	0.28
F	0.44	0.35	0.27

Tab.18. Valore limite della trasmittanza termica utile U delle strutture opache verticali ($\text{W/m}^2\text{K}$)

ZONE CLIMATIC HE	Valori limite trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura ($\text{W/m}^2\text{K}$)		
	1 gennaio 2006	31 dicembre 2008	1 gennaio 2010
A	0.80	0.42	0.38
B	0.60	0.42	0.38
C	0.55	0.42	0.38
D	0.46	0.35	0.32
E	0.43	0.32	0.30
F	0.41	0.31	0.29

Tab.19. Valore limite della trasmittanza termica utile U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura ($\text{W/m}^2\text{K}$)

ZONE CLIMATIC HE	Valori limite trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali di pavimento (W/m ² K)		
	1 gennaio 2006	31 dicembre 2008	1 gennaio 2010
A	0.80	0.74	0.65
B	0.60	0.55	0.49
C	0.55	0.49	0.42
D	0.46	0.41	0.36
E	0.43	0.38	0.33
F	0.41	0.36	0.32

Tab.20. Valore limite della trasmittanza termica utile U delle strutture opache orizzontali di pavimento (W/m²K)

ZONE CLIMATIC HE	Valori limite trasmittanza termica U delle chiusure trasparenti comprensive degli infissi (W/m ² K)		
	1 gennaio 2006	31 dicembre 2008	1 gennaio 2010
A	5.5	5.0	4.6
B	4.0	3.6	3.0
C	3.3	3.0	2.6
D	3.1	2.8	2.4
E	2.8	2.4	2.2
F	2.4	2.2	2.0

Tab.21. Valore limite della trasmittanza termica U delle chiusure trasparenti comprensive degli infissi (W/m²K)

LOCALITA'	Irradiazione solare giornaliera			Irradiazione sul piano orizzontale Ims
	Diretta [MJ/m ²] Hdh	Diffusa [MJ/m ²] Hbh	Globale [MJ/m ²] Hdh + Hbh	
MANTOVA	7.3	17.4	24.7	286
ROMA	6.6	20.5	27.1	297
PALERMO	6.3	21.6	27.6	323

Tab.22. Valori di irradiazione solare giornaliera

I valori della tabella 25 sono stati desunti sommando le irradiazioni solari giornaliere dirette e diffuse contenute nella norma UNI 10349, sui dati climatici, per ottenere le irradiazioni solari giornaliere globali, dividendo il risultato per 24 ore.

I contenuti nel decreto legislativo 192 costituiscono soltanto un piccolo tassello dell' articolato sistema di vincoli con cui oggi è chiamata a confrontarsi la progettazione edilizia: le richieste delle norme energetiche devono essere messe a sistema con le prescrizioni delle norme acustiche, sismiche ecc. e con l'obiettivo di realizzare edifici di qualità, durevoli nel tempo, affidabili in termini di prestazioni, confortevoli per gli abitanti.

U W/m ² K	M Kg/m ²											
	150		200		250		300		350		400	
	Fa	Ψ	Fa	Ψ	Fa	Ψ	Fa	Ψ	Fa	Ψ	Fa	Ψ
< 0.4	0.45	6	0.35	8	0.25	10	0.15	12	0.10	14	0.07	16
0.4 – 0.6	0.48	6	0.40	8	0.30	9	0.20	10	0.15	12	0.12	14
0.6 – 0.8	0.54	6	0.46	8	0.35	9	0.27	10	0.20	12	0.14	14
> 0.8	0.60	6	0.50	8	0.43	8	0.27	10	0.20	12	0.14	14

Tab.23. Coefficiente di attenuazione e sfasamento Ψ(in ore) per pareti verticali con isolamento ripartito

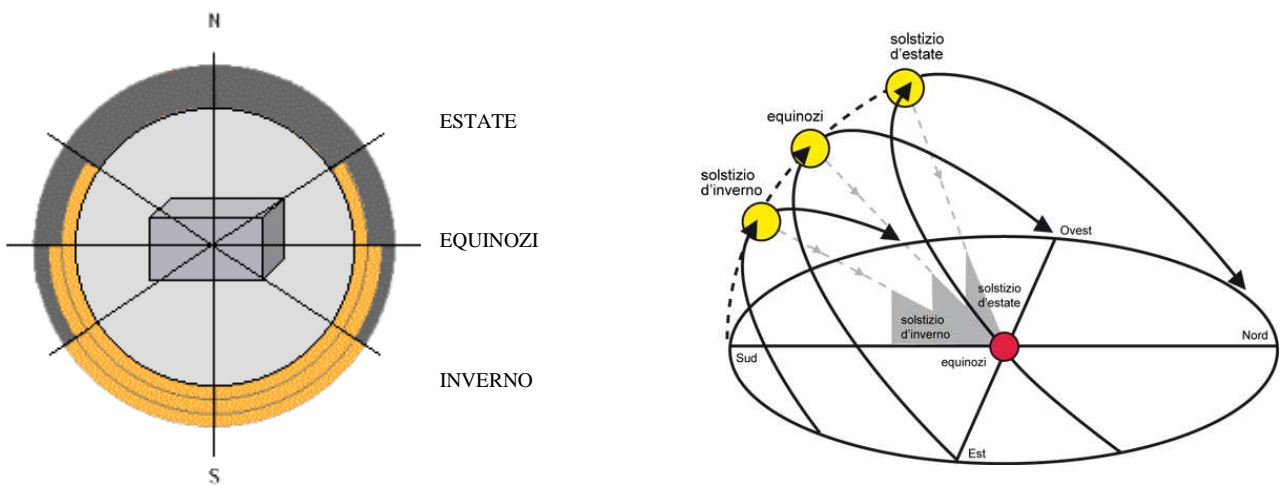


Fig.80. Soleggiamento durante le stagioni

Il sole sorge in inverno a Sudest e tramonta a Sudovest, una facciata esposta a Sud è quindi l'unica a ricevere radiazioni per tutto il giorno. In quella stagione la posizione del sole è anche bassa e la radiazione incide sulla facciata Sud quasi perpendicolarmente, così le finestre fanno penetrare i raggi solari nella profondità delle stanze. Ciò significa che il lato Sud dell'edificio riceve il massimo di radiazioni proprio in inverno, quando è più richiesto, mentre in estate, quando la posizione del sole è alta e i suoi raggi incidono a mezzogiorno in un angolo acuto, ne riceve meno. In primavera e in autunno gli apporti solari sono distribuiti in misura quasi uguale su tutte le superfici verticali, ad eccezione di quelle orientate verso Nord che ricevono sole solo per pochi giorni in estate. L'orientamento verso Sud è quindi il migliore per un edificio ad alta efficienza energetica.

L'orientamento di una facciata è definito dall'angolo azimutale che indica la deviazione dal sud geografico. All'orientamento verso sud corrisponde l'angolo azimutale 0° . L'angolo azimutale si conta spesso, in senso orario, partendo da nord. In questo caso all'orientamento verso sud corrisponde l'angolo azimutale di 180° . Dall'orientamento dipende anche la quantità di apporti solari che un edificio può ricevere.

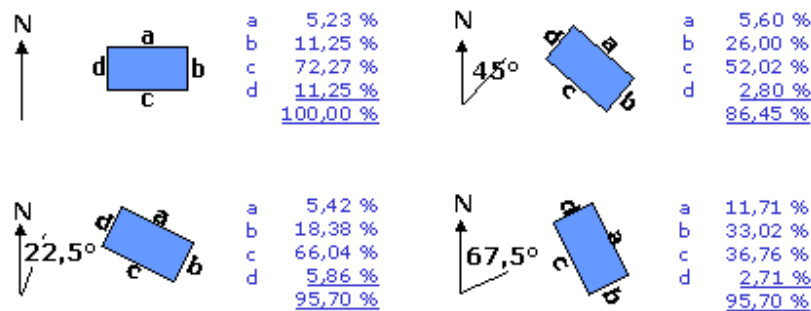


Fig.81. Apporti solari in rapporto all'orientamento dell'edificio

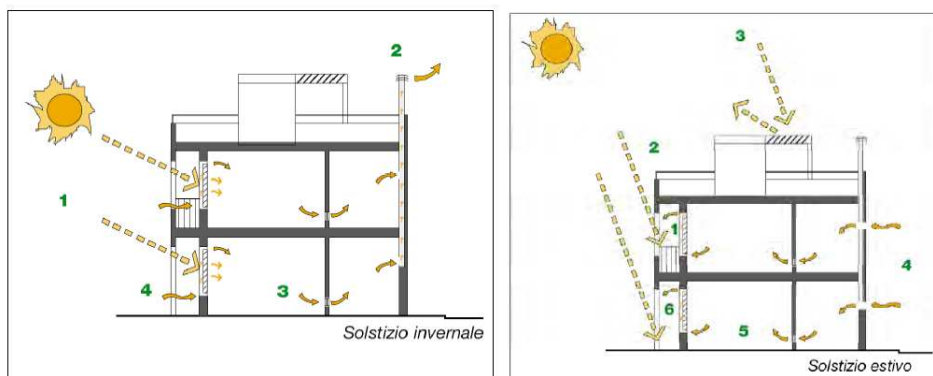


Fig.82. Esempio di irraggiamento solare nella stagione invernale ed estiva

In questo frangente le pareti svolgono una funzione decisionale nell'apporto del risparmio energetico. Fondamentale saranno le caratteristiche tecniche ed i componenti stratigrafici utili a determinare la diminuzione del grado di inquinamento prodotto dai sistemi impiantistici soprattutto quelli di riscaldamento, tenendo conto del Decreto Legislativo 192/2005 sul rendimento energetico in edilizia.

TIPO DI PARETE	Posizione isolamento	Ψ
MURATURA PORTANTE: - con isolamento concentrato	Interno	11
	Intermedio	11
	Esterno	-
MURATURA NON PORTANTE: - con isolamento concentrato	Interno	8
	Intermedio	8
	Esterno	8
PARETI DI TAMPONAMENTO: - prefabbricate multistrato - pareti finestrate	Isolante spessore 6 cm	4

Tab.24. Coefficiente di sfasamento (in ore) per pareti verticali con isolamento concentrato

In base al decreto legislativo 311/06/ sul rendimento energetico in edilizia col tempo le fornaci di laterizi si sono dovute adeguare cercando di dare ai propri prodotti il massimo dell'efficienza tecnica. Nelle tabelle precedenti sono state elencati i dati dal 1 gennaio 2006 fino al 1 gennaio 2010 riguardo la trasmittanza delle superfici opache verticali ed orizzontali. Nel dettaglio:

La **trasmittanza termica** esprime il flusso di calore che attraversa un elemento strutturale (parete, tetto, ecc.) della superficie di 1 m² con un salto termico di 1°C nell'unità di tempo. Per tal motivo risulta la grandezza più usata e idonea per la caratterizzazione di una parete dal punto di vista dell'isolamento termico, contemplata come parametro di riferimento e di valutazione nei provvedimenti legislativi in materia di contenimento energetico in edilizia (D.lgs 311/06 – D.M. 11 marzo 2008). L'inverso della

trasmissione termica unitaria si chiama resistenza termica unitaria, R_u , espressa in $[m^2K /W]$, e rappresenta appunto la resistenza che una superficie oppone al passaggio del calore:

$$R_u = \frac{1}{U} \text{ ovvero } U = \frac{1}{R_u}$$

Quando un flusso di calore attraversa una parete composta da diversi strati (in numero n), ognuno di essi deve essere attraversato dallo stesso flusso, così come ognuno di essi costituisce un ostacolo a questo flusso. Dunque il comportamento di ognuno di questi strati nei confronti del passaggio del flusso di calore sarà riassunto dalla propria resistenza r .

La resistenza termica unitaria della parete, (ovvero globale comprendente tutti i vari strati) è la somma degli strati attraversati:

$$R_u = r_1 + r_2 + \dots r_n$$

La trasmittanza della parete sarà quindi l'inverso della suddetta resistenza totale, cioè l'inverso della somma delle resistenze parziali, ovvero:

$$U = \frac{1}{R_u}$$

A determinare la resistenza r di ogni strato intervengono lo spessore dello stesso (in modo direttamente proporzionale infatti più lo strato è spesso e più ostacola il passaggio di calore) e la qualità specifica del materiale costituente nei confronti della trasmissione del calore, "parente" della già citata trasmittanza ma che nel qual caso è la **conducibilità termica**.

Questa, indicata convenzionalmente con il simbolo λ ed espressa in $W/m K$, è il parametro che meglio caratterizza il comportamento dal punto di vista della trasmissione del calore valutando l'attitudine a lasciar passar il calore. Nello specifico misura la quantità di calore che attraversa in 1 secondo 1 m^2 di materiale spesso 1 m, in presenza di una differenza di temperatura tra l'esterno e l'interno di 1 K.

$$r = \frac{s}{\lambda} \quad \left[\frac{m^2K}{W} \right]$$

Le superfici che possono delimitare un ambiente sono di svariati tipi: omogenee (ovvero costituite da un unico materiale) oppure composte o stratificate, opache (le pareti e i solai in genere) o trasparenti (le

finestre). Anche se la parete è omogenea, cioè vi è un solo strato, tecnicamente si considera un'altra resistenza (o meglio altre 2) oltre alla propria a simboleggiare il fatto che, poiché la parete separa i due ambienti, l'aria stessa, da una parte e dall'altra, indugia e costituisce comunque una specie di cuscinetto isolante. Questo valore inoltre tiene conto dello scambio di calore tra una parete e l'ambiente circostante, che avviene sia per convezione sia per irraggiamento. Si definiscono precisamente resistenza lineare interna e resistenza lineare esterna, i cui valori, determinati dall'esperienza, sono definiti e pressoché costanti nei vari casi (pareti verticali od orizzontali nelle varie condizioni). Esplicitando meglio, ne consegue che il valore della trasmittanza termica unitaria di una parete verticale è:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum r + \frac{1}{h_e}}$$

dove

$$\frac{1}{h_i} = 0.123 \text{ m}^2\text{K/W} \text{ resistenza lineare interna}$$

$$\frac{1}{h_e} = 0.043 \text{ m}^2\text{K/W} \text{ resistenza lineare esterna}$$

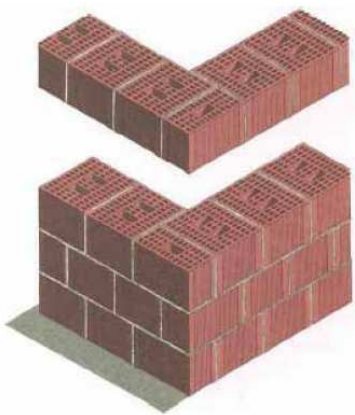
$$\sum r = \text{sommatoria delle resistenze termiche dei vari strati che compongono la parete}$$

5.6. Tipologie edilizie

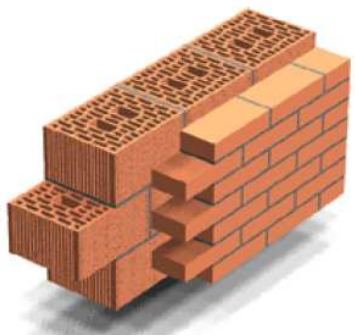
Le murature in laterizio sono realizzate in diverse forme e modi, con differenze relative:

- Al tipo di laterizio utilizzato (per forma, dimensioni e caratteristiche del laterizio stesso) e alla modalità di messa in opera;
- Alla modalità di costruzione dei muri, con o senza intercapedini d'aria o altro materiale;
- Alla presenza o meno di barre integrative di ferro (murature armate o non armate);
- All'uso di diversi leganti per l'unione dei laterizi (malte).

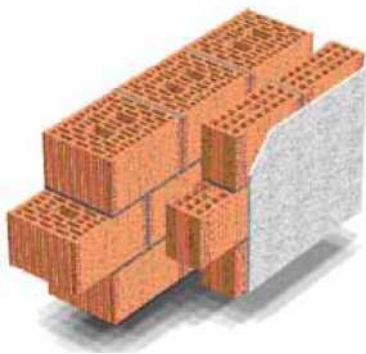
Si possono distinguere i seguenti principali tipi di muratura, portante o di tamponamento:



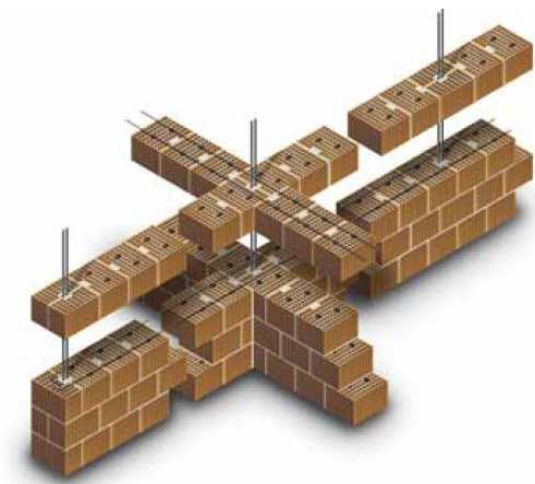
- Muratura monostrato: muratura realizzata con blocchi a tutto spessore di muro in laterizio normale o alleggerito, sia a fori verticali che orizzontali;



- Muratura mista: muratura realizzata con due o più tipi di mattoni o blocchi tra loro diversi. I due strati possono essere tra loro compenetranti in modo da formare una struttura sufficientemente collegata oppure semplicemente accostati;



- Muratura doppia o doppia parete: si intende una muratura realizzata in due strati tra loro distanziati. L'intercapedine tra i due strati può essere realizzata semplicemente con intercapedine d'aria oppure con inserimento di diversi tipi di materiali isolanti;



- Muratura doppia o doppia parete: con il D.M. 16 Gennaio 1996 “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche”. Secondo tale decreto la muratura armata è una muratura costituita da elementi resistenti aventi le caratteristiche di cui al punto 1.2.2 del D.M. 20 Novembre 1987 e collegati esclusivamente mediante malta di classe M2, M1, con armature metalliche verticali e orizzontali che conferiscono alla struttura duttilità e resistenza a trazione.

Fig.83. Tipologie edilizie

5.7. Azioni comuni tipologiche nel 2010

Il laterizio è un materiale per definizione sostenibile, grazie ad una materia prima naturale e abbondante in natura, ed a prestazioni che assicurano elevati livelli di risparmio energetico, comfort, salute e igiene ambientale, ma anche opportuni requisiti di sicurezza strutturale nei confronti del fuoco e degli eventi sismici. Negli ultimi anni queste caratteristiche si sono abbinate, grazie a politiche innovative di settore, a stimolanti esiti di ricerca che hanno consentito impieghi fortemente all'avanguardia di un materiale con radici antichissime, ma che dimostra di reggere benissimo la sfida della modernità.

L'innovazione che deriva dal nuovo modo di utilizzare materiali noti e di uso consolidato, attraverso la scoperta di potenzialità inesplorate offerte anche da nuove procedure di trasformazione della materia prima in prodotti finiti, simultaneamente a scelte costruttive e di assemblaggio, è sicuramente in grado di garantire anche nel nuovo gli elevati standard qualitativi e la durata tipica delle costruzioni tradizionali. Anche un settore dalla storia lunga e stratificata, come quello del laterizio, si pone continuamente nuovi traguardi: per migliorare la qualità, rendere la produzione più efficiente, sviluppare prodotti che vengano incontro alle mutate necessità.

Per la classificazione dei prodotti sono stati presi in esame i laterizi tradizionali di tre aziende:

- Produttore 1 della Lombardia,
- Produttore 2 della Lombardia,
- Produttore 3 del Piemonte.

Di queste aziende sono stati analizzati i rispettivi cataloghi produttivi con i dati tecnici riferiti al 2010, per poter paragonare le rispettive proprietà.

5.7.1. Laterizi per muratura

Gli elementi in laterizio per strutture murarie possono essere mattoni pieni e semipieni (rispettivamente, con percentuale di foratura inferiore al 15% e al 45%) e blocchi semipieni (con percentuale di foratura compresa tra il 15 ed il 45%) e forati (con percentuale superiore al 45%). Vengono utilizzati sia per la realizzazione di *murature portanti*, sia come *tamponamento* all'interno di strutture intelaiate in cemento armato. I mattoni ed i blocchi vengono prodotti sia in laterizio normale che alleggerito in pasta, allo scopo di incrementare le prestazioni di isolamento termico ed acustico. Possono inoltre essere con facce di letto rettificata (o a giunti sottili) e ad incastro (con presenza di appositi risalti maschio-femmina in corrispondenza dei giunti verticali).

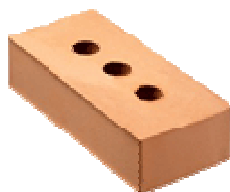
I *divisori* sono elementi in laterizio di tipo leggero che, possono essere posti in opera sia a fori verticali che orizzontali (paralleli al piano di posa). In tali prodotti l'area complessiva dei fori varia dal 45 fino al

70-75% dell'area totale della sezione di estrusione. Data l'elevata percentuale di vuoti, la resistenza alla compressione dei mattoni e dei blocchi forati risulta inferiore a quella degli altri elementi per muratura e, pertanto, essi vengono prevalentemente utilizzati per *pareti di tamponamento* e divisori. Con percentuale di foratura fino al 55% possono, tuttavia, essere usati anche con funzioni portanti, per costruzioni in zone non dichiarate sismiche. A seconda del livello prestazionale che si intende ottenere (protezione termica ed acustica) tali elementi possono essere assemblati in unico o doppio strato, con l'eventuale inserimento di materiale termoisolante.



	<i>Mattonone pieno</i>		
	PRODUTTORE 1	PRODUTTORE 2	PRODUTTORE 3
Dimensioni	25 x 12 x 6	24 x 12 x 5.5	25 x 12x 5.5
Tipo	Portante	Portante	Portante
Foratura	-	-	-
Peso Kg/cad	3.00	2.75	2.8
Spessore muro	25/12	24/12	25/12
Pezzi per m²	58/117	61/118	58/117
Trasmittanza U parete intonacata (W/m²K)	1.355	2.06	1.84
Coefficiente di diffusione del vapore D'acqua	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)

Tab.25. Proprietà mattone pieno



	<i>Mattoni 3 fori</i>		
	PRODUTTORE 1	PRODUTTORE 2	PRODUTTORE 3
Dimensioni	25 x 11 x 6	25 x 12 x 6	25 x 12x 5.5
Tipo	Portante	Portante	Portante
Foratura %	< 45	< 45	< 18
Peso Kg/cad	2.40	2.5	3.0
Spessore muro	25/11	25/12	25/12
Pezzi per m²	58/117	55/110	58/117
Trasmittanza U parete intonacata (W/m²K)	1.25	1.32	2.2
Coefficiente di diffusione del vapore D'acqua	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)

Tab.26. Proprietà mattone 3 fori



	<i>Mattoni forati</i>		
	PRODUTTORE 1	PRODUTTORE 2	PRODUTTORE 3
Dimensioni	24 x 11 x 6	25 x 12 x 6	25 x 12x 5.5
Tipo	Portante	Portante	Portante
Foratura %	< 45	< 45	< 45
Peso Kg/cad	1.50	2.0	2.3
Spessore muro	24/11	25/12	25/12
Pezzi per m²	60/128	55/110	58/117
Trasmittanza U parete intonacata (W/m²K)	1.029	1.04	2.04
Coefficiente di diffusione del vapore D'acqua	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)

Tab.27. Proprietà mattone forato



	<i>Bimattone</i>		
	PRODUTTORE 1	PRODUTTORE 2	PRODUTTORE 3
Dimensioni	25 x 12 x 12	25 x 12 x 12	25 x 12 x 12
Tipo	Portante	Portante	Portante
Foratura %	45	< 45	45
Peso Kg/cad	3.10	3.20	3.3
Spessore muro	25/12	25/12	25/12
Pezzi per m²	31/62	30/59	31/60
Trasmittanza U parete intonacata (W/m²K)	1.41	1.31	1.28
Coefficiente di diffusione del vapore D'acqua	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)

Tab.28. Proprietà bimattone



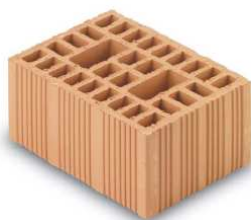
	<i>Doppio uni</i>		
	PRODUTTORE 1	PRODUTTORE 2	PRODUTTORE 3
Dimensioni	25 x 12 x 19	25 x 12 x 19	25 x 12 x 19
Tipo	Portante	Portante	Portante
Foratura %	45	< 45	45
Peso Kg/cad	5.0	5.20	5.3
Spessore muro	25/12	25/12	25/12
Pezzi per m²	20/40	20/39	21/44
Trasmittanza U parete intonacata (W/m²K)	0.85	1.28	1.24
Coefficiente di diffusione del vapore D'acqua	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)

Tab.29. Proprietà doppio uni



	<i>Doppio doppio uni</i>		
	PRODUTTORE 1	PRODUTTORE 2	PRODUTTORE 3
Dimensioni	25 x 12 x 24.5	25 x 12 x 12	25 x 12 x 25
Tipo	Portante	Portante	Portante
Foratura %	45	< 45	45
Peso Kg/cad	6.40	6.50	5.7
Spessore muro	25/12	25/12	25/12
Pezzi per m²	15/31	15/30	15/30
Trasmittanza U parete intonacata (W/m²K)	1.47	1.23	1.26
Coefficiente di diffusione del vapore D'acqua	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)

Tab.30. Proprietà doppio doppio uni



	<i>Blocco svizzero</i>		
	PRODUTTORE 1	PRODUTTORE 2	PRODUTTORE 3
Dimensioni	25 x 18 x 12	25 x 18 x 13	25 x 18 x 13
Tipo	Portante	Portante	Portante
Foratura %	50	45	50
Peso Kg/cad	4.50	5.0	4.7
Spessore muro	25/18	25/18	25/18
Pezzi per m²	31/42	27/37	27/37
Trasmittanza U parete intonacata (W/m²K)	0.79	1.04	1.23
Coefficiente di diffusione del vapore D'acqua	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)

Tab.31. Proprietà blocco svizzero



	<i>Modulare 30</i>		
	PRODUTTORE 1	PRODUTTORE 2	PRODUTTORE 3
Dimensioni	30 x 25 x 19	25 x 30 x 19	30 x 20 x 19
Tipo	Portante	Portante	Portante
Foratura %	50	54	45
Peso Kg/cad	11.70	10.50	10.7
Spessore muro	30/25	25/30	30/20
Pezzi per m²	16/20	16/20	18/27
Trasmittanza U parete intonacata (W/m²K)	0.65	0.83	0.90
Coefficiente di diffusione del vapore D'acqua	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)

Tab.32. Proprietà modulare 30



	<i>Modulare 25</i>		
	PRODUTTORE 1	PRODUTTORE 2	PRODUTTORE 3
Dimensioni	25 x 20 x 19	25 x 30 x 19	25 x 20 x 19
Tipo	Portante	Portante	Portante
Foratura %	45	50	45
Peso Kg/cad	8.80	12	8.9
Spessore muro	25/20	25/30	25/20
Pezzi per m²	25/20	16/20	20/24
Trasmittanza U parete intonacata (W/m²K)	0.80	0.82	0.92
Coefficiente di diffusione del vapore D'acqua	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)

Tab.33. Proprietà modulare 25



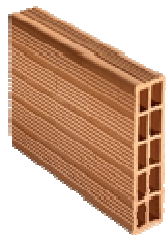
	<i>Blocco incastro H 19</i>		
	PRODUTTORE 1	PRODUTTORE 2	PRODUTTORE 3
Dimensioni	30 x 25 x 19	30 x 25 x 19	30 x 24 x 19
Tipo	Portante	Portante	Portante
Foratura %	50	43	45
Peso Kg/cad	11.0	11.5	11.2
Spessore muro	30/25	30/25	30/24
Pezzi per m²	18	15	17
Trasmittanza U parete intonacata (W/m²K)	0.67	0.89	0.62
Coefficiente di diffusione del vapore D'acqua	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)

Tab.34. Proprietà blocco incastro H19



	<i>Blocco incastro H 24.5</i>		
	PRODUTTORE 1	PRODUTTORE 2	PRODUTTORE 3
Dimensioni	30 x 25 x 24.5	30 x 24 x 24.5	30 x 24 x 24.5
Tipo	Portante	Portante	Portante
Foratura %	50	50	45
Peso Kg/cad	14.20	13.5	15.2
Spessore muro	30/25	30/24	30/24
Pezzi per m²	18	14	16
Trasmittanza U parete intonacata (W/m²K)	0.66	0.63	0.71
Coefficiente di diffusione del vapore D'acqua	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)

Tab.35. Proprietà blocco incastro H 24.5



	<i>Tramezza 6-8/33</i>		
	PRODUTTORE 1	PRODUTTORE 2	PRODUTTORE 3
Dimensioni	25 x 8 x 25	33 x 8 x 25	33 x 6 x 25
Tipo	Divisorio	Divisorio	Divisorio
Foratura %	66	66	60
Peso Kg/cad	3.0	3.90	3.6
Spessore muro	8	8	6
Pezzi per m²	16	12	12
Trasmittanza U parete intonacata (W/m²K)	1.83	1.58	1.81
Coefficiente di diffusione del vapore D'acqua	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)

Tab.36. Proprietà tramezza 6-8/33



	<i>Tramezza 6-8/50</i>		
	PRODUTTORE 1	PRODUTTORE 2	PRODUTTORE 3
Dimensioni	50 x 8 x 24.5	50 x 8 x 25	50 x 8 x 25
Tipo	Divisorio	Divisorio	Divisorio
Foratura %	45	60	60
Peso Kg/cad	6.0	6.12	6
Spessore muro	8	8	6
Pezzi per m²	11	8	8
Trasmittanza U parete intonacata (W/m²K)	1.72	1.63	1.78
Coefficiente di diffusione del vapore D'acqua	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)

Tab.37. Proprietà tramezza 6-8/50



	<i>Tramezza 12/25</i>		
	PRODUTTORE 1	PRODUTTORE 2	PRODUTTORE 3
Dimensioni	25 x 12 x 25	25 x 12 x 25	25 x 12 x 25
Tipo	Divisorio	Divisorio	Divisorio
Foratura %	60	62	60
Peso Kg/cad	4.5	4.5	4.5
Spessore muro	12	12	12
Pezzi per m²	16	15	16
Trasmittanza U parete intonacata (W/m²K)	1.32	1.26	1.40
Coefficiente di diffusione del vapore D'acqua	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)	$\mu= 5;10$ (EN 1745)

Tab.38. Proprietà tramezza 12/25

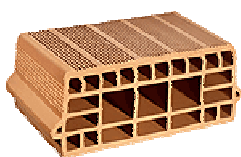
5.7.2. Laterizi per solai

Gli elementi in laterizio per strutture orizzontali (solai) consentono, in unione al calcestruzzo armato la realizzazione di orizzontamenti di elevata rigidità, alte prestazioni strutturali e, contemporaneamente, di estrema leggerezza. I laterizi per solai sono elementi di forma pressoché parallelepipedica, posti in opera a fori orizzontali, con percentuale di foratura compresa tra il 50 e il 75%. A seconda del tipo di esecuzione prescelto, sono disponibili *per solai da gettare in opera*, oppure i cosiddetti "interposti", che richiedono l'impiego di *travetti prefabbricati* - ad armatura lenta o precompressi - sui quali appoggiano con opportuni risalti (alette) sporgenti dai lati. Blocchi in laterizio vengono parimenti utilizzati nella prefabbricazione di pannelli o come alleggerimento in combinazione con lastre in calcestruzzo armato, soluzioni particolarmente indicate in presenza di una marcata modularità esecutiva.



	<i>Interposto 8-12</i>		
	PRODUTTORE 1	PRODUTTORE 2	PRODUTTORE 3
Dimensioni	40 x 25 x 8	40 x 25 x 12	40 x 25 x 12
Tipo	Blocco solaio	Blocco solaio	Blocco solaio
Peso Kg/cad	4	7	8.9
Interasse cm	38	50	48
Pezzi per m²	10	10	7.7
Trasmittanza U parete intonacata (W/m²K)	2.06	2.15	2.11

Tab.39. Proprietà interposto 8-12



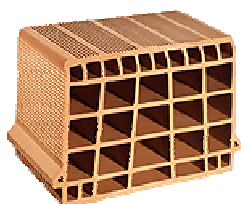
	<i><u>Interposto 16/40</u></i>		
	PRODUTTORE 1	PRODUTTORE 2	PRODUTTORE 3
Dimensioni	40 x 25 x 16	40 x 25 x 16	40 x 25 x 16
Tipo	Blocco solaio	Blocco solaio	Blocco solaio
Peso Kg/cad	9.5	9.7	8.9
Interasse cm	38	50	38
Pezzi per m²	10	10	10
Trasmittanza U parete intonacata (W/m²K)	2.32	2.69	2.70

Tab.40. Proprietà interposto 16/40



	<i><u>Interposto 24/40</u></i>		
	PRODUTTORE 1	PRODUTTORE 2	PRODUTTORE 3
Dimensioni	40 x 25 x 24	40 x 25 x 24	40 x 25 x 24
Tipo	Blocco solaio	Blocco solaio	Blocco solaio
Peso Kg/cad	12	12.1	13.5
Interasse cm	38	50	38
Pezzi per m²	10	10	10
Trasmittanza U parete intonacata (W/m²K)	2.12	2.34	2.2

Tab.41. Proprietà interposto 24/40



	<i>Interposto 28/40</i>		
	PRODUTTORE 1	PRODUTTORE 2	PRODUTTORE 3
Dimensioni	38 x 25 x 28	38 x 28 x 28	38 x 25 x 28
Tipo	Blocco solaio	Blocco solaio	Blocco solaio
Peso Kg/cad	14.9	14.4	15.0
Interasse cm	38	50	38
Pezzi per m²	10	10	10
Trasmittanza U parete intonacata (W/m²K)	1.98	2.21	2.01

Tab.42. Proprietà interposto 28/40



	<i>Interposto 30/40</i>		
	PRODUTTORE 1	PRODUTTORE 2	PRODUTTORE 3
Dimensioni	38 x 25 x 30	38 x 28 x 30	38 x 25 x 30
Tipo	Blocco solaio	Blocco solaio	Blocco solaio
Peso Kg/cad	14.2	14.4	14.2
Interasse cm	38	50	38
Pezzi per m²	10	10	10
Trasmittanza U parete intonacata (W/m²K)	1.91	2.02	1.93

Tab.43. Proprietà interposto 30/40

Osservazioni:

Nella sezione precedente sono state analizzate tre aziende produttrici di laterizi ed in particolare modo mi sono soffermata sull'analisi dei prodotti, quali, elementi laterizi pieni e forati per la muratura portante perimetrale o interna, elementi divisori interni, blocchi per solai. Affiancando i dati dei tre produttori è possibile effettuare alcune considerazioni. Le analisi si riferiscono a dati tecnici registrati nel periodo dal 2008 al 2010. Lo studio di una stessa tipologia ha permesso di effettuare delle analisi di comparazione sulle prestazioni tecniche e sulla forma dei singoli materiali arrivando alla conclusione che i prodotti hanno delle caratteristiche simili, seguono tutti una certa linea costante, chi più chi meno, ma risultano possedere le stesse prestazioni. Questo è dovuto sicuramente ai parametri restrittivi della normativa energetica a livello europeo, con la Direttiva europea EPBD 202/91/CE, ma soprattutto a livello nazionale con il Decreto legislativo del 19 agosto 2005, n. 192 e le successive modifiche, dove i produttori di laterizi si sono trovati obbligati a studiare i propri parametri di fabbricazione dei prodotti. Lo si può notare dalla comparazione dei dati nelle tabelle sovrastanti che permettono di poter valutare uno sviluppo costante e unitario dei vari prodotti.

Per i tre produttori il fattore della forma di uno stesso prodotto risulta sostanzialmente lo stesso, cambia di pochi millimetri o massimo di 1 centimetro. Anche le caratteristiche della percentuale di foratura, il peso in Kg, dello spessore dei muri e la trasmittanza della parete intonacata, risultano costanti tra di loro. Questo indica che i tre produttori, oltre a rispettare la normativa di riferimento, hanno seguito una analisi di lavorazione sui prodotti corretta che li porterà a migliorare sempre più le proprie prestazioni tecniche.

5.8. Studio delle evoluzioni tipologiche dal 2010 al 1998

La ricerca di procedure di calcolo energetico sofisticate, per ottenere valori più aderenti al comportamento reale degli edifici, richiede la conoscenza e la disponibilità di informazioni tecniche sempre più articolate e dettagliate sui materiali che vanno a costituire l'edificio.

Dall'analisi dei prodotti in laterizio oggi disponibili, emerge un processo di innovazione continuo al fine del miglioramento prestazionale: in particolare, per aumentare la resistenza termica dei blocchi sono state condotte sperimentazioni sulla conducibilità e densità dell'impasto, sulla percentuale di foratura e densità degli elementi, sulla geometria dei fori (nel rispetto dei vincoli dettati dalla normativa sismica, nel caso dei blocchi portanti), sui giunti (realizzati con malta termica o annullandoli nel caso dei blocchi a incastro e rettificati), ottenendo prodotti e soluzioni tecniche sempre più performanti. Al fine di comprendere l'incidenza di questi fattori sulle prestazioni termiche dei prodotti, è stata condotta una campagna di valutazioni.

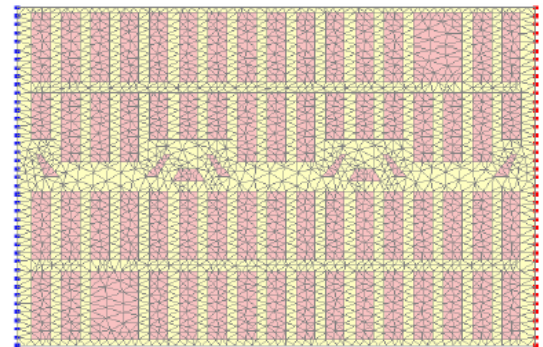
A differenza della sezione precedente, dove sono state analizzate delle tipologie di laterizi di tre produttori differenti, in questa parte verranno analizzati alcuni dati tecnici storici che sono riuscita ad avere dal produttore di laterizi 1. Considerando i dati della parte precedente che si riferiscono al 2010, in questa parte andrò a ritroso fino a considerare dei dati del 1998.

La ricerca svolta ha individuato un repertorio di soluzioni rispondenti alle prestazioni richieste dal D.Lgs. 311/06 (che aggiorna il D.Lgs. 192/05), per i prodotti del 2006/2008/2010, proponendo più che una casistica di soluzioni conformi, una procedura di scelta di prodotti funzionale al raggiungimento delle prestazioni richieste.

Oggetto 1: Blocco in laterizio porizzato rettificato, di una parte di muratura da esso costituita, secondo la norma UNI EN 1745 e con riferimento al D.Lgs. n. 192 del 19/08/2005 “attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico dell’edilizia”.

Sono stati determinati dei valori termici attraverso l’utilizzo del programma CR THERM e attraverso una serie di prove in laboratorio. Per la fase di elaborazione sono stati considerati i seguenti dati:

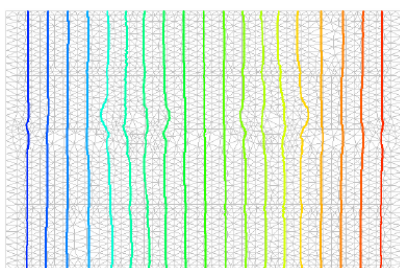
CONDIZIONI	2008	2006
Dimensioni elemento, cm	35x24.5x25	35x23.5x25
Resistenza superficiale interna, m ² K/W	0.13	0.13
Resistenza superficiale esterna, m ² K/W	0.04	0.04
Differenza di temperatura, K	20	20
Massa volumica netta, Kg/cm ³	1620	1660
Λ di base dell’impasto, W/mK	0.316	0.325



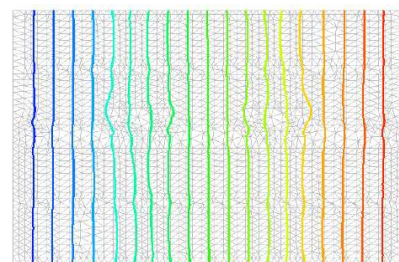
La mesh dell’elemento ricalca la geometria della sezione del blocco.

Tab.44. Proprietà condizioni oggetto 1

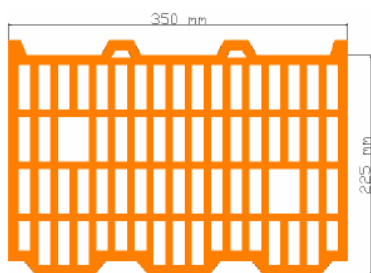
La disposizione delle linee isoterme consente di valutare qualitativamente l’andamento del flusso termico passante attraverso la sezione analizzata. Tanto più le isoterme sono parallele e rettilinee tanto più il flusso termico tende ad essere sostanzialmente uniforme nei diversi punti della sezione dell’elemento.



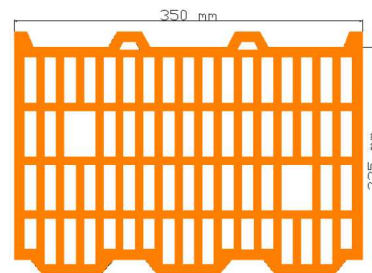
Flusso termico nel 2008



Flusso termico nel 2006



Caratteristiche geometriche dell’elemento nel 2008



Caratteristiche geometriche dell’elemento nel 2006 251

Per la determinazione delle caratteristiche termiche della parete in muratura costituita dagli elementi in oggetto si è tenuto conto della presenza della malta di allettamento fra i corsi di elementi sommando alla potenza termica che si trasmette attraverso il blocco la potenza dispersa dai giunti di malta, supponendo identiche le differenze di temperature sulla porzione di struttura e sulla malta.

I risultati del calcolo termico eseguito sull'elemento in oggetto, evidenziano sia il valore di conduttività termica equivalente riferito al solo elemento, sia i valori termici riferiti alla parete:

CONDIZIONI	2008	2006
Conduttività termica equivalente della parete, $\lambda=W/mK$	0.165	0.149
Conduttanza termica della parete, $C=W/m^2K$	0.471	0.427
Resistenza termica della parete, $R=m^2K/W$	2.122	2.340
Trasmittanza termica della parete, $U=W/ m^2K$	0.436	0.398
Conduttività intonaco (1.5 cm intonaco interno + 1.5 cm intonaco esterno), $\lambda=W/mK$	0.93	0.93
Trasmittanza termica della parete con intonaco, $U=W/ m^2K$	0.428	0.393

Tab.45. Prestazioni oggetto 1

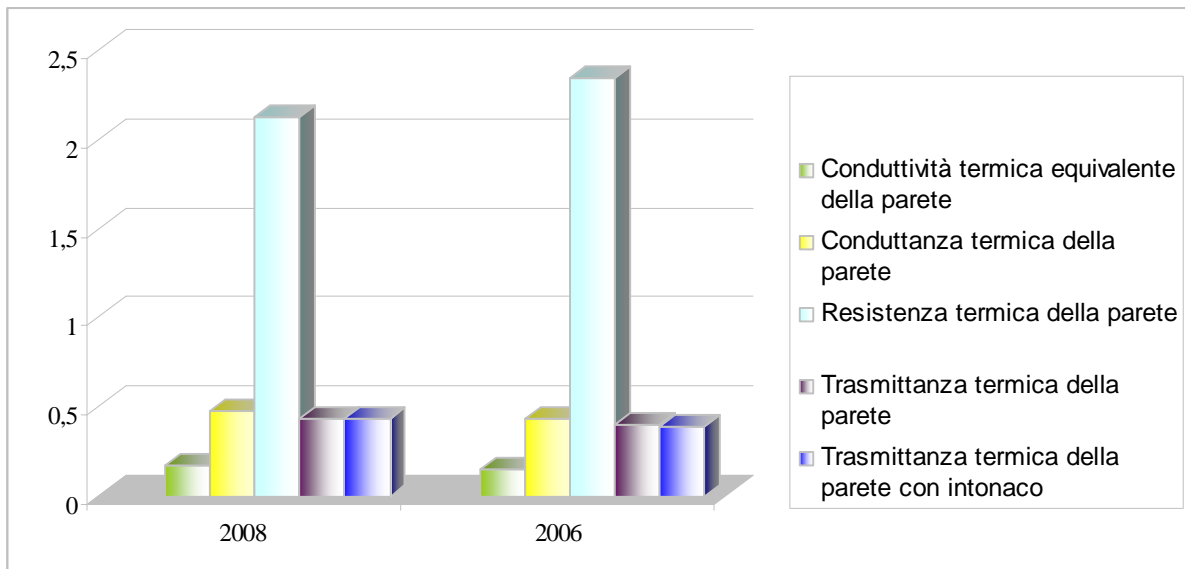


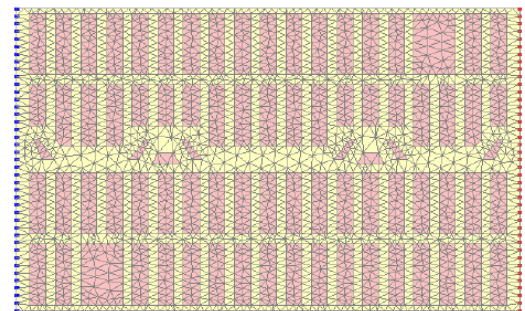
Grafico.4. Prestazioni oggetto 1

Osservazioni:

Il confronto è stato fatto su uno stesso modello. Le riflessioni da fare sono il cambiamento di dimensione da 35 x 23.5 x 25 nel 2006 a 35 x 24.5 x 25 nel 2008. Questo ha portato ad aumentare le prestazioni della parete ed in particolare modo la resistenza termica che risulta maggiore nel blocco dell'anno 2008. Ciò significa che il blocco esaminato ha delle caratteristiche che consentono di aumentare il rapporto della temperatura interna con quella esterna, migliorando le prestazioni energetiche dell'intera parete e del manufatto complessivo.

Oggetto 2: *Blocco in laterizio porizzato rettificato*, di una parte di muratura da esso costituita, secondo la norma UNI EN 1745 e con riferimento al D.Lgs. n. 192 del 19/08/2005 e successiva modifica col D.M. 15/05/2006 “attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico dell’edilizia”. Sono stati determinati dei valori termici attraverso l’utilizzo del programma CR THERM e attraverso una serie di prove in laboratorio. Per la fase di elaborazione sono stati considerati i seguenti dati:

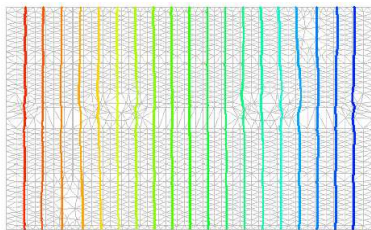
CONDIZIONI	2008	2006
Dimensioni elemento, cm	38x24.5x25	38x23.5x25
Resistenza superficiale interna, m ² K/W	0.13	0.13
Resistenza superficiale esterna, m ² K/W	0.04	0.04
Differenza di temperatura, K	20	20
Massa volumica netta, Kg/cm ³	1620	1660
λ di base dell’impasto, W/mK	0.316	0.325



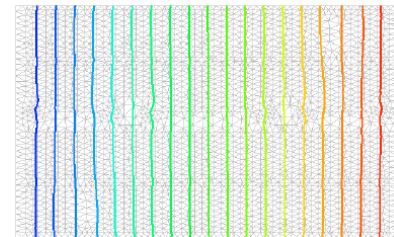
La mesh dell’elemento ricalca la geometria della sezione del blocco.

Tab.46. Proprietà condizioni oggetto 2

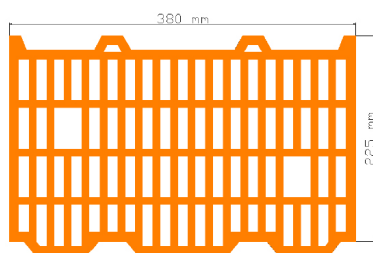
La disposizione delle linee isoterme consente di valutare qualitativamente l’andamento del flusso termico passante attraverso la sezione analizzata. Tanto più le isoterme sono parallele e rettilinee tanto più il flusso termico tende ad essere sostanzialmente uniforme nei diversi punti della sezione dell’elemento.



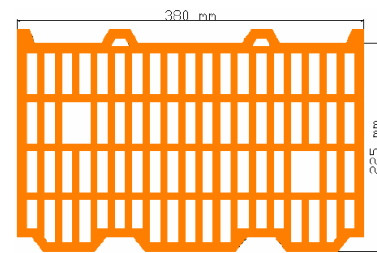
Flusso termico nel 2006



Flusso termico nel 2008



Caratteristiche geometriche dell’elemento nel 2006



Caratteristiche geometriche dell’elemento nel 2006

Per la determinazione delle caratteristiche termiche della parete in muratura costituita dagli elementi in oggetto si è tenuto conto della presenza della malta di allettamento fra i corsi di elementi sommando alla potenza termica che si trasmette attraverso il blocco la potenza dispersa dai giunti di malta, supponendo identiche le differenze di temperature sulla porzione di struttura e sulla malta.

I risultati del calcolo termico eseguito sull'elemento in oggetto, evidenziano sia il valore di conduttività termica equivalente riferito al solo elemento, sia i valori termici riferiti alla parete:

CONDIZIONI	2008	2006
Conduttività termica equivalente della parete, $\lambda=W/mK$	0.164	0.148
Conduttanza termica della parete, $C=W/m^2K$	0.431	0.390
Resistenza termica della parete, $R=m^2K/W$	2.322	2.563
Trasmittanza termica della parete, $U=W/ m^2K$	0.401	0.366
Conduttività intonaco (1.5 cm intonaco interno + 1.5 cm intonaco esterno), $\lambda=W/mK$	0.93	0.93
Trasmittanza termica della parete con intonaco, $U=W/ m^2K$	0.394	0.362

Tab.47. Prestazioni oggetto 2

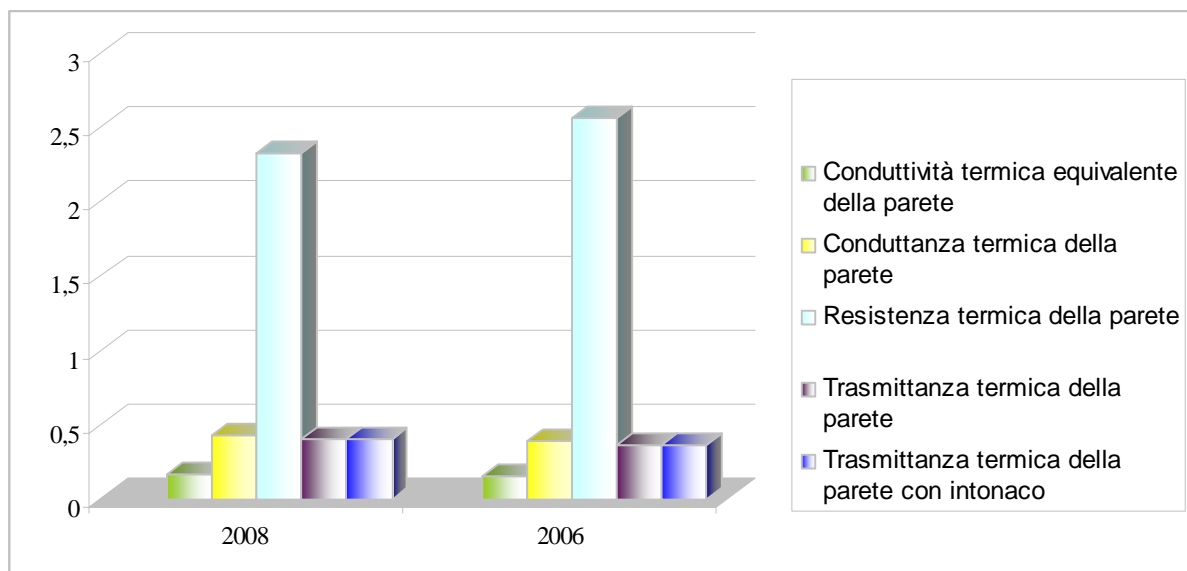


Grafico.5. Prestazioni oggetto 2

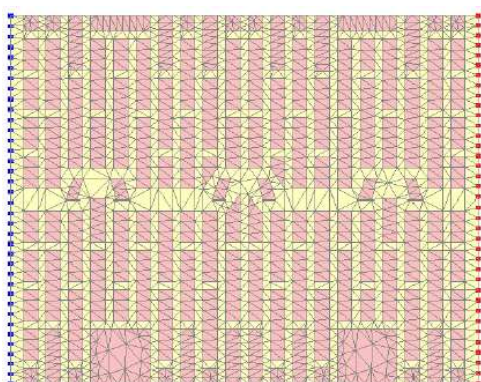
Osservazioni:

Il confronto è stato fatto su uno stesso modello. Le riflessioni da fare sono il cambiamento di dimensione da 38 x 24 x 25 nel 2006 a 38 x 23.5 x 25 nel 2008. Questo ha portato ad aumentare le prestazioni della parete ed in particolare modo la resistenza termica che risulta maggiore nel blocco dell'anno 2008. Ciò significa che il blocco esaminato ha delle caratteristiche che consentono di aumentare il rapporto della temperatura interna con quella esterna, migliorando le prestazioni energetiche dell'intera parete e del manufatto complessivo, anche se il parametro della trasmittanza della parete appare leggermente maggiore nel 2008 rispetto al 2006 dovuta all'aumento della forma del blocco di laterizio.

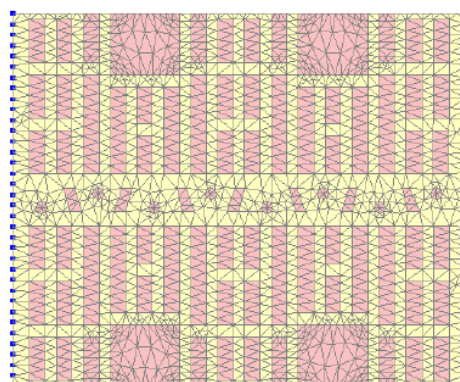
Oggetto 3: *Blocco in laterizio porizzato rettificato*, di una parte di muratura da esso costituita, secondo la norma UNI EN 1745 e con riferimento al D.Lgs. n. 192 del 19/08/2005 e successiva modifica col D.M. 15/05/2006 “attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico dell’edilizia”. Sono stati determinati dei valori termici attraverso l’utilizzo del programma CR THERM e attraverso una serie di prove in laboratorio. Per la fase di elaborazione sono stati considerati i seguenti dati:

CONDIZIONI	2009	2006	1998
Dimensioni elemento, cm	30x23.5x25	30x20x25	30x24x24
Resistenza superficiale interna, m ² K/W	0.13	0.13	-
Resistenza superficiale esterna, m ² K/W	0.04	0.04	-
Differenza di temperatura, K	20	20	20
Massa volumica netta, Kg/cm ³	1660	1660	1474
λ di base dell’impasto, W/mK	0.325	0.325	0.36

Tab.48. Proprietà condizioni oggetto 3

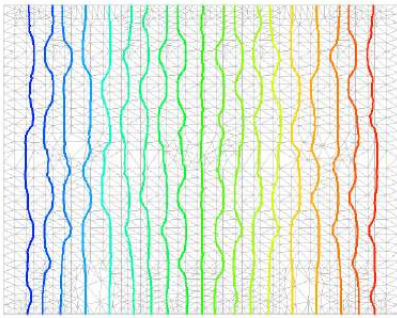


Mesh dell’elemento del 2009

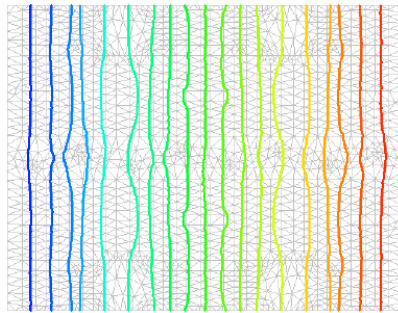


Mesh dell’elemento del 2006

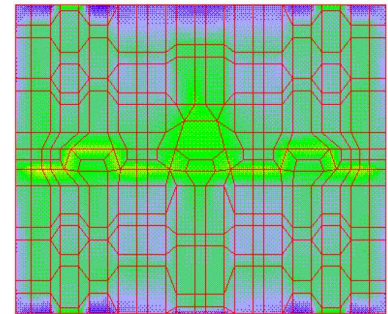
La disposizione delle linee isoterme consente di valutare qualitativamente l'andamento del flusso termico passante attraverso la sezione analizzata. Tanto più le isoterme sono parallele e rettilinee tanto più il flusso termico tende ad essere sostanzialmente uniforme nei diversi punti della sezione dell'elemento.



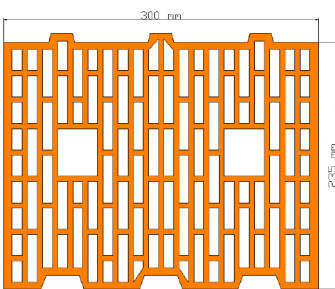
Flusso termico nel 2009



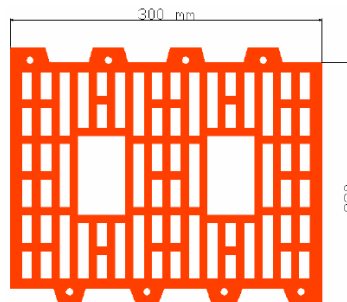
Flusso termico nel 2006



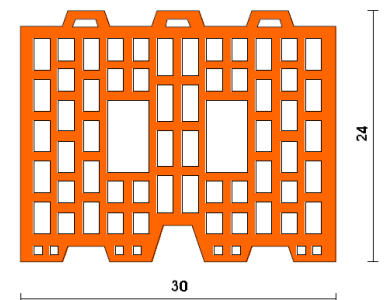
Flusso termico nel 1998



Caratteristiche geometriche dell'elemento nel 2009



Caratteristiche geometriche dell'elemento nel 2006



Caratteristiche geometriche dell'elemento nel 1998

Per la determinazione delle caratteristiche termiche della parete in muratura costituita dagli elementi in oggetto si è tenuto conto della presenza della malta di allettamento fra i corsi di elementi sommando alla potenza termica che si trasmette attraverso il blocco la potenza dispersa dai giunti di malta, supponendo identiche le differenze di temperature sulla porzione di struttura e sulla malta.

I risultati del calcolo termico eseguito sull'elemento in oggetto, evidenziano sia il valore di conduttività termica equivalente riferito al solo elemento, sia i valori termici riferiti alla parete:

CONDIZIONI	2009	2006	1998
Conduttività termica equivalente della parete, $\lambda=W/mK$	0.126	0.161	0.305
Conduttanza termica della parete, $C=W/m^2K$	0.420	0.538	1.018
Resistenza termica della parete, $R=m^2K/W$	2.382	1.859	0.982
Trasmittanza termica della parete, $U=W/ m^2K$	0.392	0.493	0.869
Conduttività intonaco (1.5 cm intonaco interno + 1.5 cm intonaco esterno), $\lambda=W/mK$	0.93	0.93	0.90
Trasmittanza termica della parete con intonaco, $U=W/ m^2K$	0.385	0.483	0.852

Tab.49. Prestazioni oggetto 3

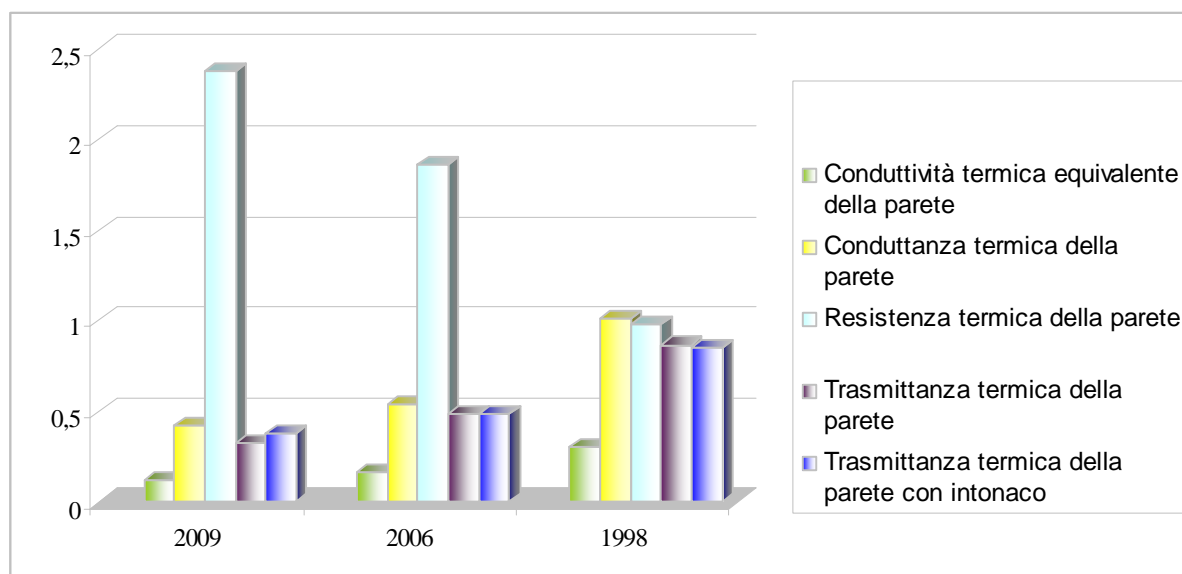


Grafico.6. Prestazioni oggetto 3

Osservazioni:

Questo è uno dei casi studio più interessanti perché è possibile vedere le trasformazioni nel tempo di un blocco di laterizio dal 1998 fino al 2009.

Nell'analisi è possibile osservare un cambiamento dimensionale della forma che nel 1998 ha queste dimensioni 30 x 24 x 24, nel 2006 ha queste dimensioni 30 x 20 x 25 e nel 2009 ha queste dimensioni 30 x 23.5 x 25. Si osserva immediatamente il cambiamento dimensionale dal 1998 al 2006, con un aumento delle dimensioni del blocco in laterizio; dal 2006 al 2009 c'è un ulteriore cambiamento dimensionale, ma diminuendo di nuovo le dimensioni del blocco in laterizio.

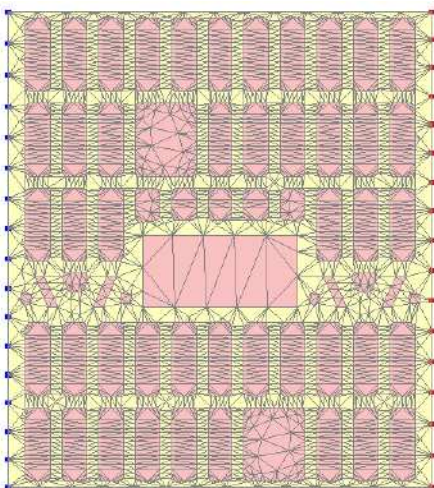
A tale proposito è possibile osservare dal grafico un aumento sostanziale della resistenza termica della parete nel 2009 in confronto al 1998. Ciò sottolinea l'importanza del cambiamento dimensionale del blocco di laterizio e del cambiamento delle proprie caratteristiche interne che lo rendono sempre più conforme ai parametri della normativa energetica di riferimento, con un aumento delle prestazioni termiche ed una diminuzione sostanziale della trasmittanza della parete intonacata, nel 2009 $U= 0.385$ W/ m²K, nel 1998 $U= 0.852$ W/ m²K. Il processo di cambiamento è stato costante nel tempo come si può notare nel 2006 $U= 0.483$ W/ m²K.

Oggetto 4: *Blocco in laterizio comune*, di una parte di muratura da esso costituita, secondo la norma UNI EN 1745 e con riferimento al D.Lgs. n. 192 del 19/08/2005 e successiva modifica col D.M. 15/05/2006 “attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico dell’edilizia”.

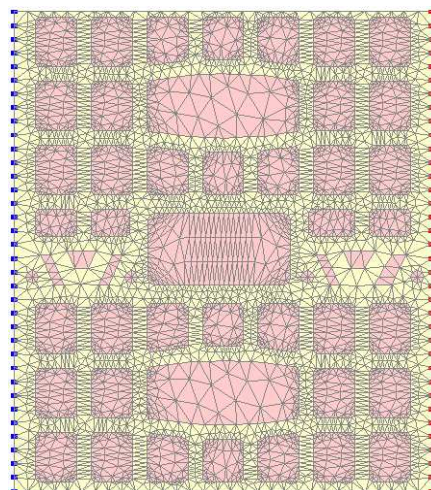
Sono stati determinati dei valori termici attraverso l’utilizzo del programma CR THERM e attraverso una serie di prove in laboratorio. Per la fase di elaborazione sono stati considerati i seguenti dati:

CONDIZIONI	2008	2006	2004	2000
Dimensioni elemento, cm	25x24.5x30	25x24.5x30	25x25x30	25x25x30
Resistenza superficiale interna, m ² K/W	0.13	0.13	-	-
Resistenza superficiale esterna, m ² K/W	0.04	0.04	-	-
Differenza di temperatura, K	20	20	20	20
Massa volumica netta, Kg/cm ³	1710	1710	-	-
λ di base dell’impasto, W/mK	0.413	0.413	0.798	0.912

Tab.50. Proprietà condizioni oggetto 4



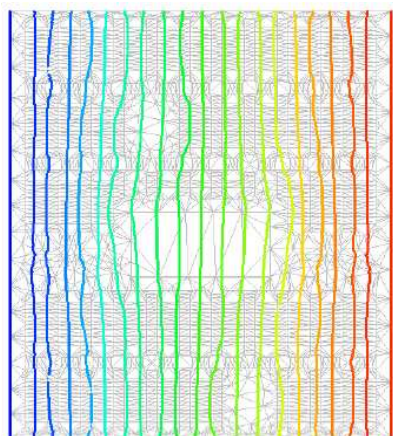
Mesh dell’elemento del 2008



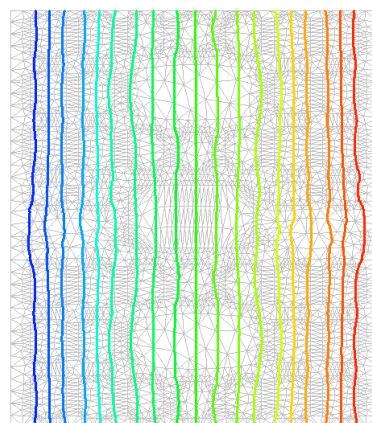
Mesh dell’elemento del 2006

Le immagini mesh del 2004 e del 2000 non sono state inserite perché non disponibili.

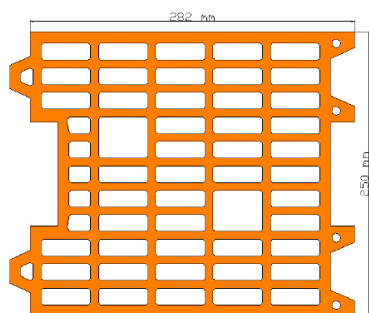
La disposizione delle linee isoterme consente di valutare qualitativamente l'andamento del flusso termico passante attraverso la sezione analizzata. Tanto più le isoterme sono parallele e rettilinee tanto più il flusso termico tende ad essere sostanzialmente uniforme nei diversi punti della sezione dell'elemento.



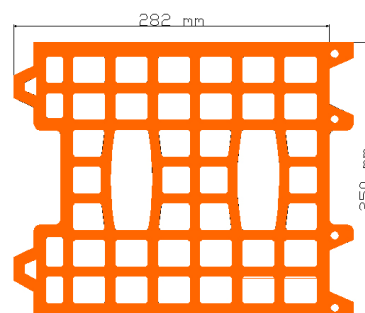
Flusso termico nel 2008



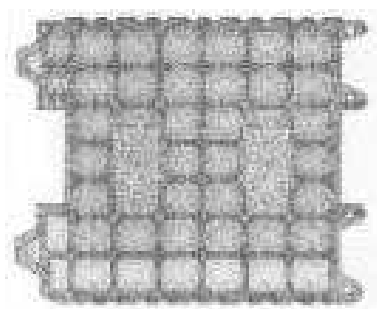
Flusso termico nel 2006



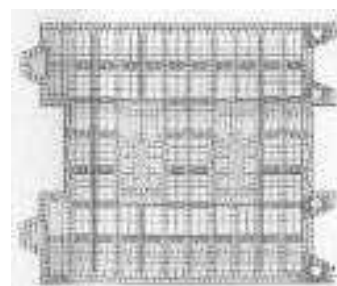
Caratteristiche geometriche dell'elemento nel 2008



Caratteristiche geometriche dell'elemento nel 2006



Caratteristiche geometriche dell'elemento nel 2004



Caratteristiche geometriche dell'elemento nel 2000

Le immagini del flusso termico riferite al 2004 e al 2000 non sono state inserite perché risultano troppo scure e non comprensibili.

Per la determinazione delle caratteristiche termiche della parete in muratura costituita dagli elementi in oggetto si è tenuto conto della presenza della malta di allettamento fra i corsi di elementi sommando alla potenza termica che si trasmette attraverso il blocco la potenza dispersa dai giunti di malta, supponendo identiche le differenze di temperature sulla porzione di struttura e sulla malta.

I risultati del calcolo termico eseguito sull'elemento in oggetto, evidenziano sia il valore di conduttività termica equivalente riferito al solo elemento, sia i valori termici riferiti alla parete:

CONDIZIONI	2008	2006	2004	2000
Conduttività termica equivalente della parete, $\lambda=W/mK$	0.195	0.247	0.372	0.348
Conduttanza termica della parete, $C=W/m^2K$	0.779	0.987	-	-
Resistenza termica della parete, $R=m^2K/W$	1.284	1.013	-	-
Trasmittanza termica della parete, $U=W/m^2K$	0.688	0.846	-	-
Conduttività intonaco (1.5 cm intonaco interno + 1.5 cm intonaco esterno), $\lambda=W/mK$	0.93	0.93	-	-
Trasmittanza termica della parete con intonaco, $U=W/m^2K$	0.668	0.823	0.852	0.912

Tab.51. Prestazioni oggetto 4



Grafico.7. Prestazioni oggetto 4

Osservazioni:

Questo è uno dei casi studio più interessanti perché è possibile vedere le trasformazioni nel tempo di un blocco di laterizio dal 2000 fino al 2008.

Nell'analisi è possibile osservare un minimo cambiamento dimensionale della forma che nel 2000 ha queste dimensioni 25 x 25 x 30 e nel 2008 ha queste dimensioni 25 x 24.5 x 30. Si osserva immediatamente il cambiamento dimensionale con una diminuzione delle dimensioni del blocco in laterizio; nel 2002 e nel 2004 le dimensioni restano inalterate. Malgrado la forma costante si evidenziano dei cambiamenti nel valore di trasmittanza che subisce una diminuzione, nel 2000 $U=0.912 \text{ W/ m}^2\text{K}$, nel 2006 $U=0.823 \text{ W/ m}^2\text{K}$ e nel 2008 $U=0.668 \text{ W/ m}^2\text{K}$. Nel grafico si evidenzia l'andamento decrescente della trasmittanza e di conseguenza l'aumento della resistenza termica della parete.

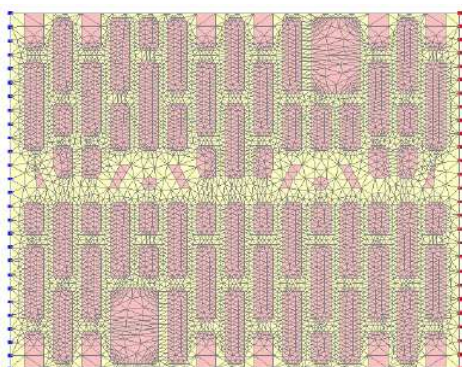
Purtroppo per l'anno 2000 e 2004 i dati inerenti la conduttanza termica non sono stati reperiti.

Oggetto 5: *Blocco in laterizio alleggerito*, di una parte di muratura da esso costituita, secondo la norma UNI EN 1745 e con riferimento al D.Lgs. n. 192 del 19/08/2005 e successiva modifica col D.M. 15/05/2006 “attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico dell’edilizia”.

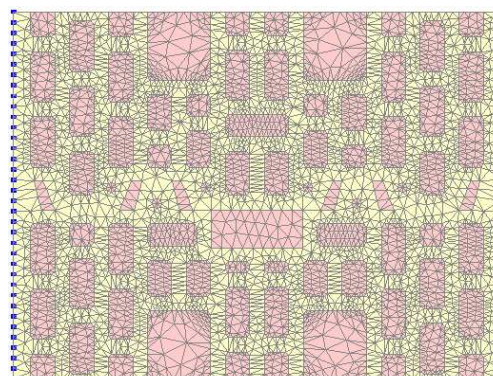
Sono stati determinati dei valori termici attraverso l’utilizzo del programma CR THERM e attraverso una serie di prove in laboratorio. Per la fase di elaborazione sono stati considerati i seguenti dati:

CONDIZIONI	2008	2006
Dimensioni elemento, cm	30x24.5x25	30x24.5x25
Resistenza superficiale interna, m ² K/W	0.13	0.13
Resistenza superficiale esterna, m ² K/W	0.04	0.04
Differenza di temperatura, K	20	20
Massa volumica netta, Kg/cm ³	1710	1640
λ di base dell’impasto, W/mK	0.413	0.321

Tab.52. Proprietà condizioni oggetto 5

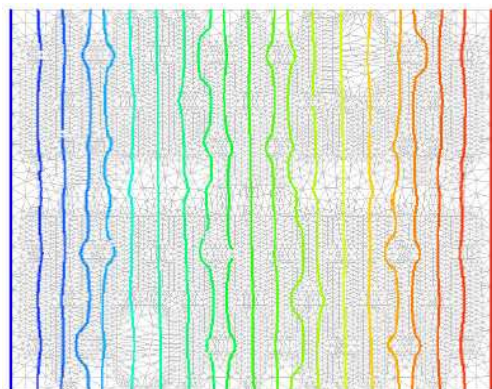


Mesh dell’elemento del 2008

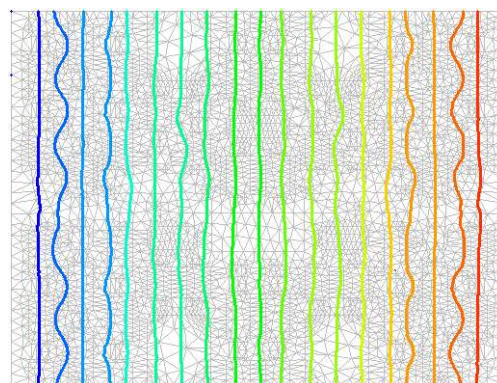


Mesh dell’elemento del 2006

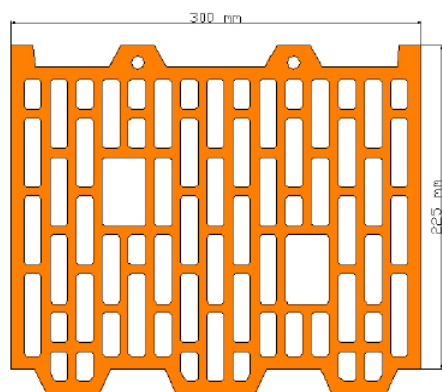
La disposizione delle linee isoterme consente di valutare qualitativamente l'andamento del flusso termico passante attraverso la sezione analizzata. Tanto più le isoterme sono parallele e rettilinee tanto più il flusso termico tende ad essere sostanzialmente uniforme nei diversi punti della sezione dell'elemento.



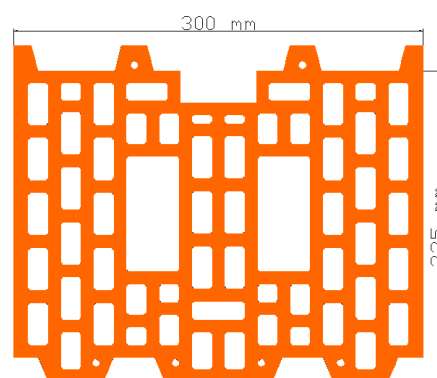
Flusso termico nel 2008



Flusso termico nel 2006



Caratteristiche geometriche dell'elemento nel 2008



Caratteristiche geometriche dell'elemento nel 2006

Per la determinazione delle caratteristiche termiche della parete in muratura costituita dagli elementi in oggetto si è tenuto conto della presenza della malta di allettamento fra i corsi di elementi sommando alla potenza termica che si trasmette attraverso il blocco la potenza dispersa dai giunti di malta, supponendo identiche le differenze di temperature sulla porzione di struttura e sulla malta.

I risultati del calcolo termico eseguito sull'elemento in oggetto, evidenziano sia il valore di conduttività termica equivalente riferito al solo elemento, sia i valori termici riferiti alla parete:

CONDIZIONI	2008	2006
Conduttività termica equivalente della parete, $\lambda=W/mK$	0.170	0.188
Conduttanza termica della parete, $C=W/m^2K$	0.566	0.627
Resistenza termica della parete, $R=m^2K/W$	1.766	1.595
Trasmittanza termica della parete, $U=W/ m^2K$	0.516	0.567
Conduttività intonaco (1.5 cm intonaco interno + 1.5 cm intonaco esterno), $\lambda=W/mK$	0.93	0.93
Trasmittanza termica della parete con intonaco, $U=W/ m^2K$	0.505	0.556

Tab.53. Prestazioni oggetto 5

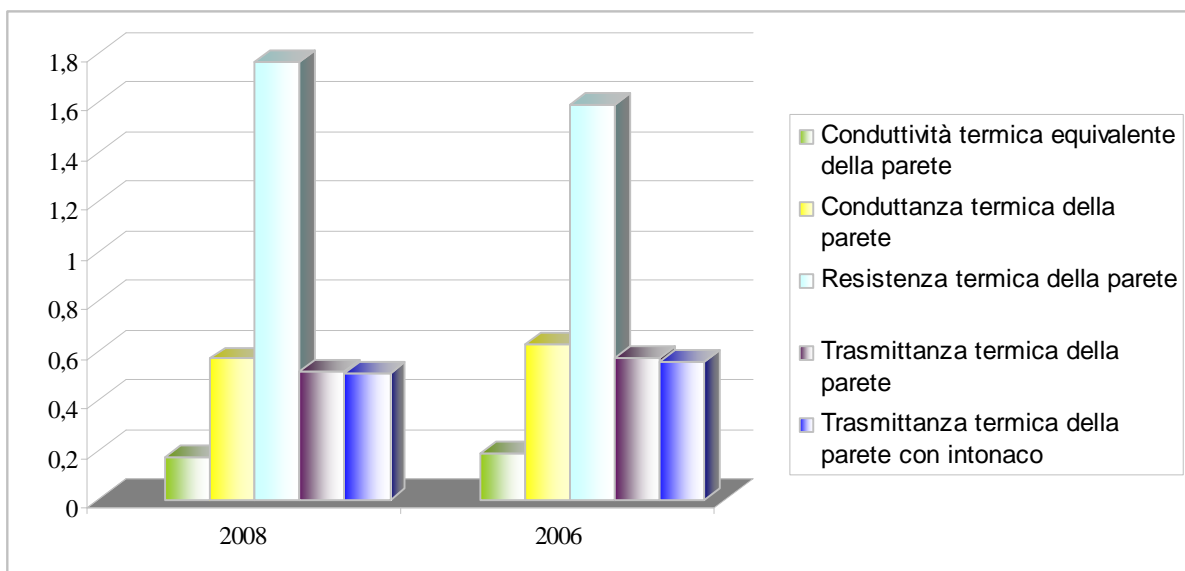


Grafico.8. Prestazioni oggetto 5

Osservazioni:

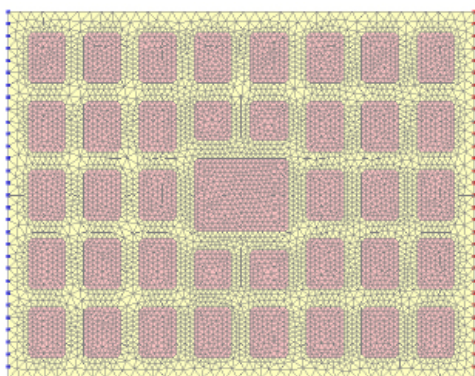
Il confronto è stato fatto su uno stesso modello. Le dimensioni del blocco dal 2006 al 2008 sono rimaste le stesse. Ci sono stati dei cambiamenti nella foratura interna. Dal grafico si può comunque vedere un aumento delle prestazioni della resistenza termica della parete e di conseguenza una diminuzione della conduttività termica e della trasmittanza, nel 2008 $U= 0.505 \text{ W/ m}^2\text{K}$ e nel 2006 $U=0.556$. Risulta interessante vedere come a distanza di soli due anni ci sono stati dei cambiamenti fisici del prodotto che hanno portato ad un aumento delle proprie prestazioni termiche.

Oggetto 6: *Blocco in laterizio comune*, di una parte di muratura da esso costituita, secondo la norma UNI EN 1745 e con riferimento al D.Lgs. n. 192 del 19/08/2005 e successiva modifica col D.M. 15/05/2006 “attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico dell’edilizia”.

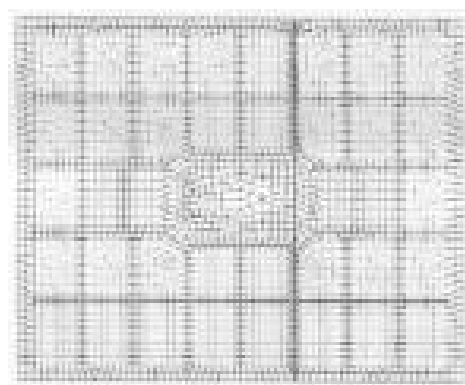
Sono stati determinati dei valori termici attraverso l’utilizzo del programma CR THERM e attraverso una serie di prove in laboratorio. Per la fase di elaborazione sono stati considerati i seguenti dati:

CONDIZIONI	2008	2004
Dimensioni elemento, cm	20x19x25	20x19x25
Resistenza superficiale interna, m ² K/W	0.13	-
Resistenza superficiale esterna, m ² K/W	0.04	-
Differenza di temperatura, K	20	20
Massa volumica netta, Kg/cm ³	1710	-
λ di base dell’impasto, W/mK	0.413	0.348

Tab.54. Proprietà condizioni oggetto 6

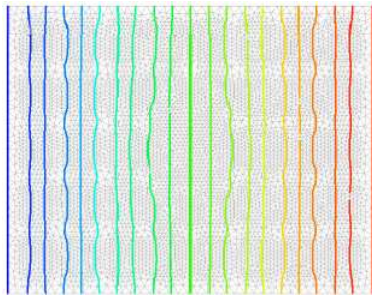


Mesh dell’elemento del 2008

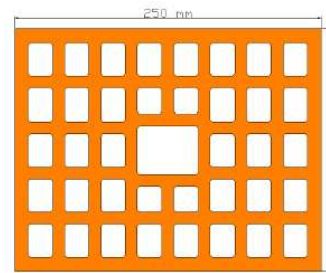


Mesh dell’elemento del 2004

La disposizione delle linee isoterme consente di valutare qualitativamente l'andamento del flusso termico passante attraverso la sezione analizzata. Tanto più le isoterme sono parallele e rettilinee tanto più il flusso termico tende ad essere sostanzialmente uniforme nei diversi punti della sezione dell'elemento.



Flusso termico nel 2008



Caratteristiche geometriche dell'elemento nel 2008

Il grafico del flusso termico e il grafico delle caratteristiche geometriche dell'elemento del 2004 non sono state inserite perché risultano troppo scure e sono incomprensibili.

Per la determinazione delle caratteristiche termiche della parete in muratura costituita dagli elementi in oggetto si è tenuto conto della presenza della malta di allettamento fra i corsi di elementi sommando alla potenza termica che si trasmette attraverso il blocco la potenza dispersa dai giunti di malta, supponendo identiche le differenze di temperature sulla porzione di struttura e sulla malta.

I risultati del calcolo termico eseguito sull'elemento in oggetto, evidenziano sia il valore di conduttività termica equivalente riferito al solo elemento, sia i valori termici riferiti alla parete:

CONDIZIONI	2008	2004
Conduttività termica equivalente della parete, $\lambda=W/mK$	0.243	0.348
Conduttanza termica della parete, $C=W/m^2K$	0.973	-
Resistenza termica della parete, $R=m^2K/W$	1.027	-
Trasmittanza termica della parete, $U=W/ m^2K$	0.835	-
Conduttività intonaco (1.5 cm intonaco interno + 1.5 cm intonaco esterno), $\lambda=W/mK$	0.93	-
Trasmittanza termica della parete con intonaco, $U=W/ m^2K$	0.806	0.894

Tab.55. Prestazioni oggetto 6

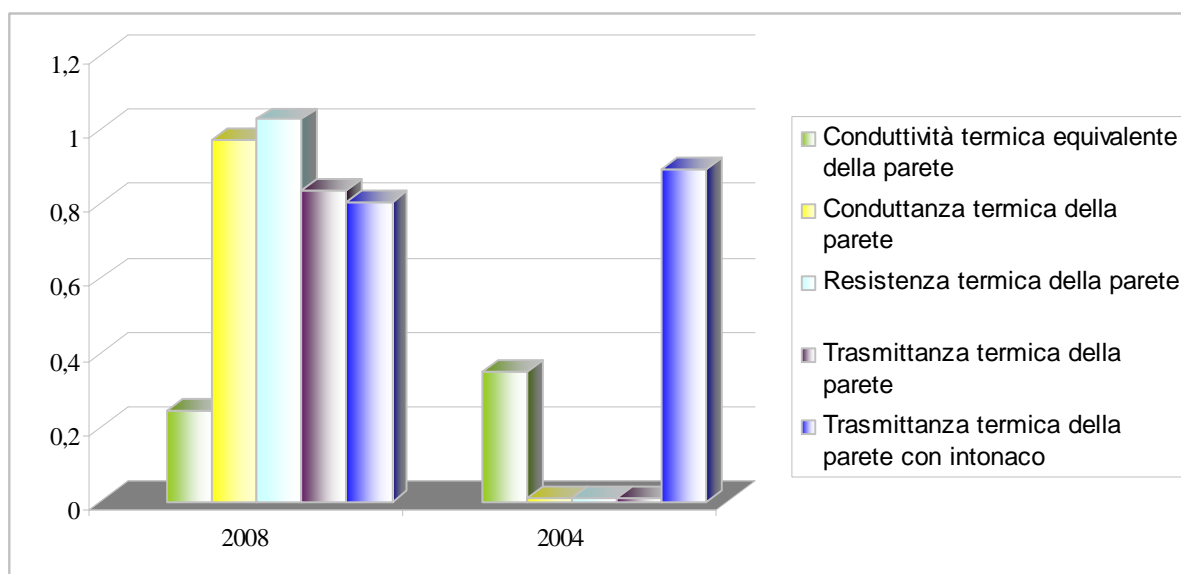


Grafico.9. Prestazioni oggetto 6

Osservazioni:

Il confronto è stato fatto su uno stesso modello a distanza di qualche anno, dal 2004 al 2008. Purtroppo per l'anno 2004 non sono stati recuperati i dati necessari per confrontarli con quelli del 2008, ma sono riuscita ad avere i dati della trasmittanza termica della parete. Non ci sono stati dei cambiamenti nella foratura interna.

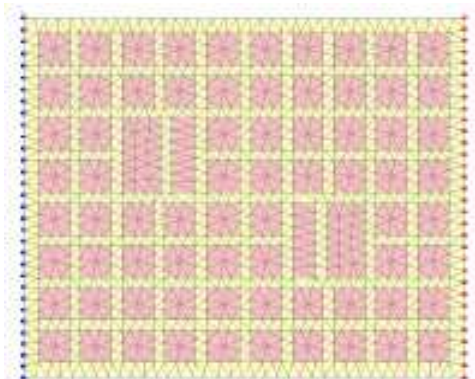
Dal grafico si può vedere una diminuzione della trasmittanza, nel 2008 $U = 0.806 \text{ W/ m}^2\text{K}$ e nel 2004 $U = 0.894$. Risulta interessante vedere come a distanza di qualche ci sono stati dei cambiamenti fisici del prodotto che hanno portato ad un aumento delle proprie prestazioni termiche.

Oggetto 7: *Blocco in laterizio comune*, di una parte di muratura da esso costituita, secondo la norma UNI EN 1745 e con riferimento al D.Lgs. n. 192 del 19/08/2005 e successiva modifica col D.M. 15/05/2006 “attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico dell’edilizia”.

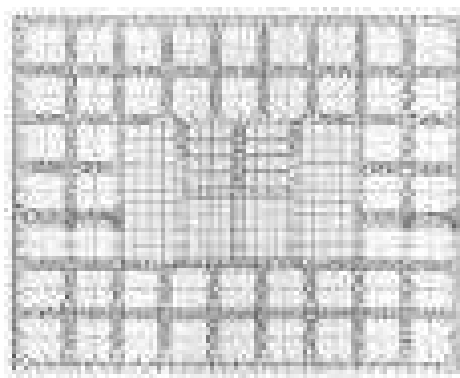
Sono stati determinati dei valori termici attraverso l’utilizzo del programma CR THERM e attraverso una serie di prove in laboratorio. Per la fase di elaborazione sono stati considerati i seguenti dati:

CONDIZIONI	2008	2004
Dimensioni elemento, cm	30x19x25	30x19x25
Resistenza superficiale interna, m ² K/W	0.13	-
Resistenza superficiale esterna, m ² K/W	0.04	-
Differenza di temperatura, K	20	20
Massa volumica netta, Kg/cm ³	1710	-
λ di base dell’impasto, W/mK	0.413	0.348

Tab.56. Proprietà condizioni oggetto 7

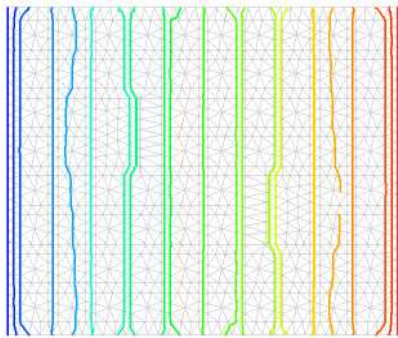


Mesh dell’elemento del 2008

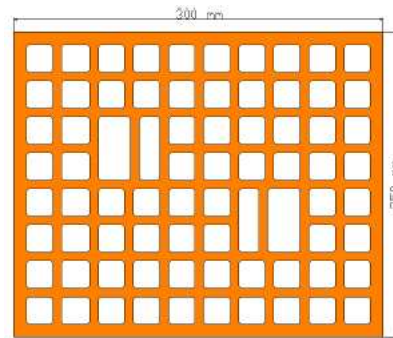


Mesh dell’elemento del 2004

La disposizione delle linee isoterme consente di valutare qualitativamente l'andamento del flusso termico passante attraverso la sezione analizzata. Tanto più le isoterme sono parallele e rettilinee tanto più il flusso termico tende ad essere sostanzialmente uniforme nei diversi punti della sezione dell'elemento.



Flusso termico nel 2008



Caratteristiche geometriche dell'elemento nel 2008

Il grafico del flusso termico e il grafico delle caratteristiche geometriche dell'elemento del 2004 non sono state inserite perché risultano troppo scure e sono incomprensibili.

Per la determinazione delle caratteristiche termiche della parete in muratura costituita dagli elementi in oggetto si è tenuto conto della presenza della malta di allettamento fra i corsi di elementi sommando alla potenza termica che si trasmette attraverso il blocco la potenza dispersa dai giunti di malta, supponendo identiche le differenze di temperature sulla porzione di struttura e sulla malta.

I risultati del calcolo termico eseguito sull'elemento in oggetto, evidenziano sia il valore di conduttività termica equivalente riferito al solo elemento, sia i valori termici riferiti alla parete:

CONDIZIONI	2008	2004
Conduttività termica equivalente della parete, $\lambda=W/mK$	0.227	0.372
Conduttanza termica della parete, $C=W/m^2K$	0.757	-
Resistenza termica della parete, $R=m^2K/W$	1.321	-
Trasmittanza termica della parete, $U=W/ m^2K$	0.671	-
Conduttività intonaco (1.5 cm intonaco interno + 1.5 cm intonaco esterno), $\lambda=W/mK$	0.93	-
Trasmittanza termica della parete con intonaco, $U=W/ m^2K$	0.652	1.096

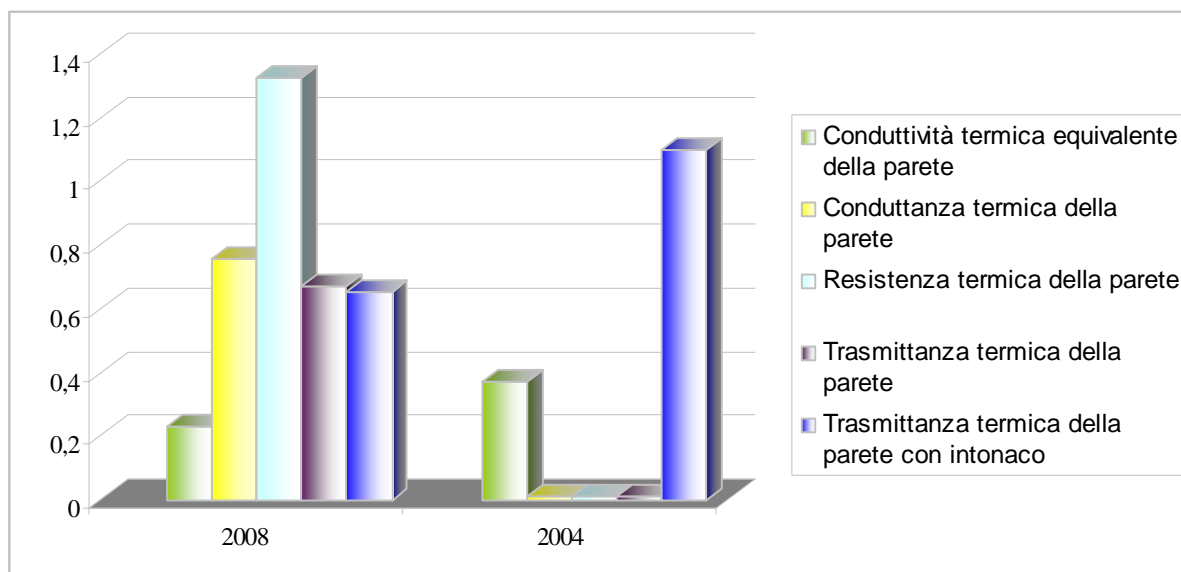


Grafico.10. Prestazioni oggetto 7

Osservazioni:

Il confronto è stato fatto su uno stesso modello a distanza di qualche anno, dal 2004 al 2008. Purtroppo per l'anno 2004 non sono stati recuperati i dati necessari per confrontarli con quelli del 2008, ma sono riuscita ad avere i dati della trasmittanza termica della parete. Ci sono stati dei cambiamenti nella foratura interna.

Dal grafico si può vedere una sostanziale diminuzione della trasmittanza, nel 2008 $U= 0.652 \text{ W/ m}^2\text{K}$ e nel 2004 $U= 1.096$. Risulta interessante vedere come a distanza di qualche ci sono stati dei cambiamenti fisici del prodotto che hanno portato ad un aumento delle proprie prestazioni termiche. In questo caso particolare il cambiamento è notevole.

5.9. Evoluzione del metodo di costruire

Per anni, i prodotti sono rimasti più o meno tali e questo perché non erano cambiate le esigenze del mercato. Oggi la situazione è completamente diversa, con una dinamica evolutiva in questo campo che non ha precedenti nella storia. L'innovazione del prodotto nel settore delle murature, riguarda l'ottimizzazione delle geometrie dei blocchi (setti sottili ed ad incastro), la rettifica degli elementi per agevolarne la posa in opera con una significativa riduzione dei ponti termici; per quanto attiene le coperture, la produzione di tegole e coppi di grande formato e con geometrie ibride tegola-coppo. Con l'introduzione del decreto legislativo 192/2005 e successive modifiche l'efficienza energetica in edilizia ha spinto i produttori a migliorare i propri prodotti in termini di resistenza termica, attraverso l'ottimizzazione dell'impasto ceramico, la ricerca della migliore configurazione delle geometrie, la manifattura di prodotti di maggiori dimensioni, la produzione di elementi ad incastro e soprattutto la proposta al mercato di soluzioni stratigrafiche altamente performanti in termini di inerzia e isolamento termico, quindi con una certa attenzione anche al comfort abitativo. I prodotti presenti sul mercato italiano sono in grado di rispondere alle nuove esigenze di contenimento dei consumi energetici come previsto dalla legislazione in materia. Il Dipartimento di Scienza e Tecnologia dell'Ambiente Costruito (Dip. BEST) del Politecnico di Milano ha identificato numerose soluzioni conformi in laterizio, dimostrandone l'assoluta rispondenza alle prescrizioni normative: le soluzioni massive in laterizio comportano un risparmio energetico per la climatizzazione invernale ed estiva fino al 30% in meno, a parità di condizioni, rispetto ad involucri leggeri. Ad analoghe conclusioni sono pervenuti anche altri centri di ricerca universitari (Bologna, Firenze, Ancona). I laterizi, dunque, espressione di una costruzione massiva, vanno al di là della norma, dando un forte contributo al contenimento dei consumi estivi, garantendo elevati livelli di benessere interno.

L'introduzione di nuovi vincoli legislativi, che assumono sempre più carattere capillare, rappresenta per i materiali esistenti un'ulteriore verifica di conformità, con la quale evidentemente non erano tenuti a confrontarsi. E' difficile che una norma metta al bando un prodotto o ne prescelga un altro; capita spesso, invece, che la normativa ponga un nuovo momento di riflessione ed indichi eventualmente il nuovo obiettivo da raggiungere. Sta dunque nella distanza da colmare e soprattutto nella solerzia e nell'intraprendenza dell'industria la determinazione del nuovo punto di equilibrio del mercato. La sostenibilità del costruire in laterizio, radicata espressione della cultura italiana, grazie anche alle sue caratteristiche di lunghissima durata e assenza di interventi manutentivi, è senz'altro un punto di vantaggio per il settore; la capacità di migliorarsi e di innovarsi per rispondere alle esigenze del mercato con prodotti multiprestazionali e di elevata qualità, in grado di soddisfare

contemporaneamente i molteplici requisiti del mondo delle costruzioni. A volte, la norma, se è di tipo premiale, può facilitare il raggiungimento dell'obiettivo che si pone incentivando alcune soluzioni rispetto ad altre. Nel caso specifico, ad esempio, lo "scomputo" degli extraspessori murari, previsto in numerosi regolamenti edilizi, ed ora prospettato dal Governo a scala nazionale, tende a valorizzare le soluzioni d'involucro di forte spessore, come quelle in laterizio, per beneficiare dell'apporto in termini energetici e di comfort dovuto all'inerzia termica delle pareti: lo scambio termico attraverso la sezione muraria è rallentato e l'accumulo di energia genera lo sfasamento dell'onda termica, riducendo il ricorso ad energivori impianti di climatizzazione, soprattutto in fase estiva, assurdamente sottovalutata dal punto di vista dei consumi energetici, ormai superiori a quelli registrati nel periodo invernale.

5.9.1. Prodotti innovativi

Tra i prodotti innovativi reperibili sul mercato si segnalano i *blocchi con isolamento integrato*: si tratta di blocchi per murature monostrato che vengono successivamente completati iniettando nei fori materiale isolante (per esempio polistirene caricato con grafite); essi permettono di ottenere prestazioni termiche molto elevate anche con spessori contenuti della muratura.



Tre grandi camere esterne di perlite assicurano un notevole coefficiente U di $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ al massiccio muro esterno senza intercapedine. Grazie all'interazione con altre 6 più piccole camere di perlite posizionate nel muro interno, si raggiungono valori statici ottimali.

Tutte le camere riempite con perlite assicurano un grande fono assorbimento. Fattore di conducibilità termica $0,070 \text{ W}/(\text{mK})$.



Questo è un blocco pesante utilizzato per muri esterni senza intercapedine. Dotato di una grande resistenza alla pressione combina in un solo materiale da costruzione le caratteristiche protettive da freddo e rumore.



Fig.84. Blocchi con isolante integrato

Grazie all'isolamento del muro esterno aumenta la temperatura della superficie sul lato interno del muro. Maggiore è questa temperatura, minore sarà la temperatura interna essenziale per garantire un confortevole clima abitativo.

Successivamente verranno analizzati dei blocchi con isolamento integrato prodotti dal produttore 1, preso in esame nei paragrafi precedenti.

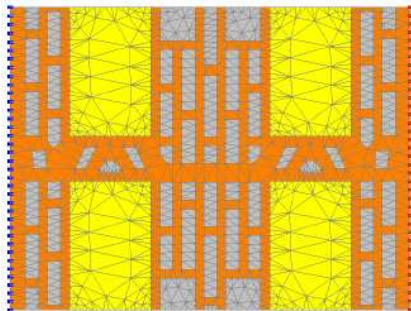
Le murature realizzate con blocchi con isolamento integrato oltre a garantire eccellenti valori di isolamento termico, sono dotate di una cospicua massa frontale, in grado di accumulare e rilasciare il calore, permettendo loro di smorzare i picchi della temperatura esterna differendoli nel tempo.

Blocco 1: Blocco in laterizio alleggerito, contenente due elementi in polistirene e di una parte in muratura da esso costituita, secondo la norma UNI EN 1745 e con riferimento al D.Lgs. n. 192 del 19/08/2005 e successiva modifica col D.M. 15/05/2006 “attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico dell’edilizia”. Sono stati determinati dei valori termici attraverso l’utilizzo del programma CR THERM e attraverso una serie di prove in laboratorio. Per la fase di elaborazione sono stati considerati i seguenti dati:



BLOCCO 1	Dimensioni	Tipo	Foratura	Peso kg	Spessore muro	Pezzi per m ²
	25x30x24	Tamponamento	60%	12.8	30	17

Tab.58. Proprietà condizioni blocco 1

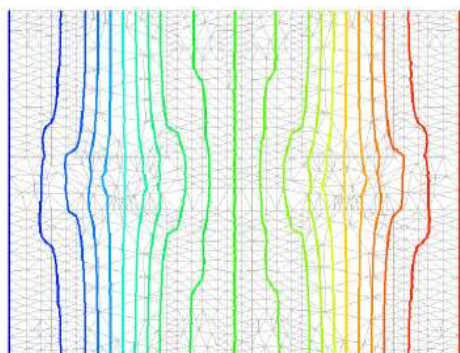


Mesh dell’elemento

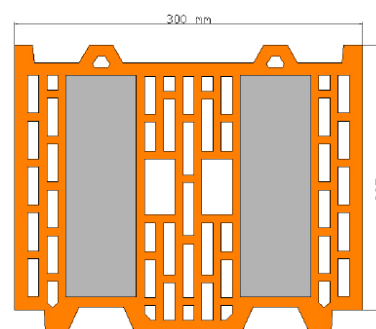
CONDIZIONI	2010
Dimensioni elemento, cm	30x25x24
Resistenza superficiale interna, m ² K/W	0.13
Resistenza superficiale esterna, m ² K/W	0.04
Differenza di temperatura, K	20
Massa volumica netta, Kg/cm ³	1660
λ di base dell’impasto, W/mK	0.324

Tab.59. Proprietà condizioni blocco 1

La disposizione delle linee isoterme consente di valutare qualitativamente l’andamento del flusso termico passante attraverso la sezione analizzata. Tanto più le isoterme sono parallele e rettilinee tanto più il flusso termico tende ad essere sostanzialmente uniforme nei diversi punti della sezione dell’elemento.



Flusso termico



Caratteristiche geometriche dell'elemento

Il grafico del flusso termico e il grafico delle caratteristiche geometriche dell'elemento del 2004 non sono state inserite perché risultano troppo scure e sono incomprensibili.

Per la determinazione delle caratteristiche termiche della parete in muratura costituita dagli elementi in oggetto si è tenuto conto della presenza della malta di allettamento fra i corsi di elementi sommando alla potenza termica che si trasmette attraverso il blocco la potenza dispersa dai giunti di malta, supponendo identiche le differenze di temperature sulla porzione di struttura e sulla malta.

I risultati del calcolo termico eseguito sull'elemento in oggetto, evidenziano sia il valore di conduttività termica equivalente riferito al solo elemento, sia i valori termici riferiti alla parete:

CONDIZIONI	2010
Conduttività termica equivalente della parete, $\lambda=W/mK$	0.095
Conduttanza termica della parete, $C=W/m^2K$	0.315
Resistenza termica della parete, $R=m^2K/W$	3.175
Trasmittanza termica della parete, $U=W/ m^2K$	0.299
Conduttività intonaco (1.5 cm intonaco interno + 1.5 cm intonaco esterno), $\lambda=W/mK$	0.93
Trasmittanza termica della parete con intonaco, $U=W/ m^2K$	0.295

Tab.60. Prestazioni blocco 1

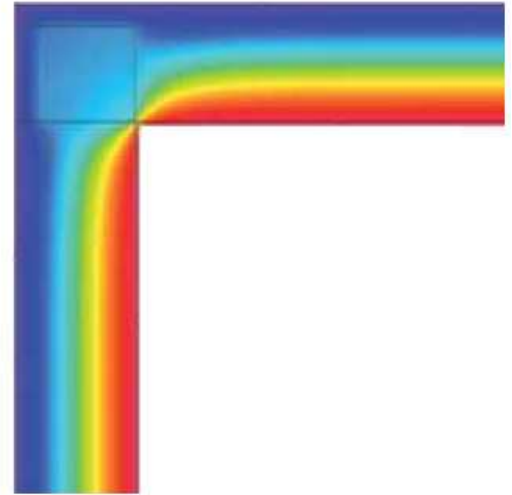
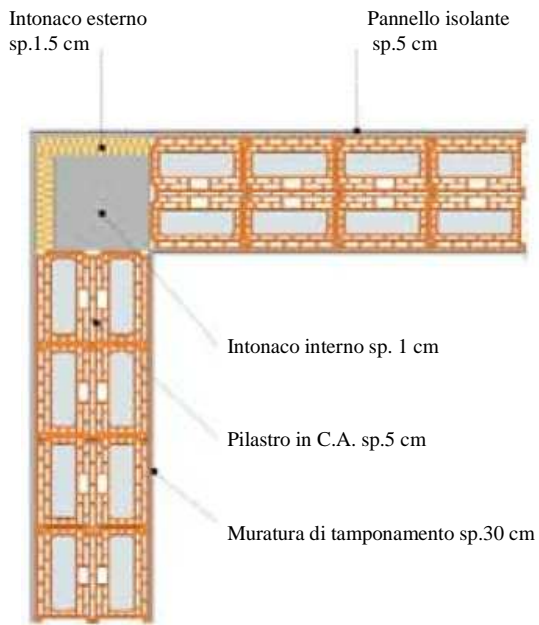


Fig.85. Angolo di muratura con pilastro 25x25

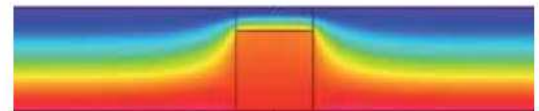
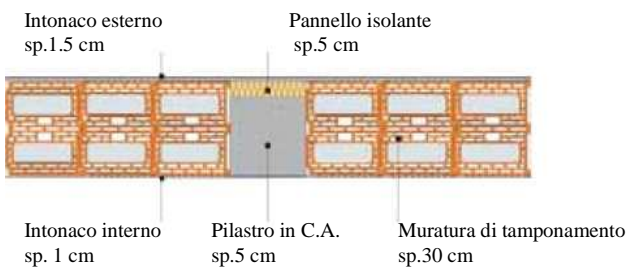


Fig.86. Muratura con pilastro 25x25

	Conducibilità, W/mK	Spessore, cm	Spessore parete, cm	Trasmittanza, W/m ² K
Intonaco tradizionale esterno	0.93	1.5	33	0.30
Blocco 1	0.095	30		
Intonaco tradizionale interno	0.54	1.5		

Tab.61. Prestazioni blocco 1

Le certezze dei risultati sono:

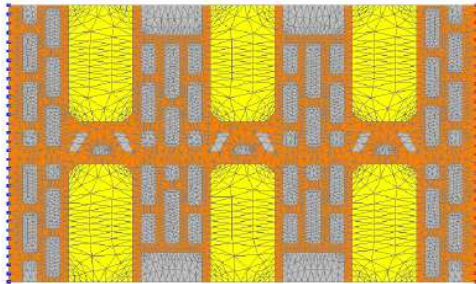
- *Isolamento termico*, le pareti realizzate con i blocchi 1, intonacate tradizionalmente, raggiungono trasmittanze termiche di 0,24 e 0,30 W/m²K, rendendo inutile la posa di un cappotto a lastre o di un termo intonaco;
- *Massa superficiale ed inerzia termica*, i blocchi permettono di realizzare tamponamenti con elevata inerzia termica. La massa superficiale della parete, esclusi gli intonaci, è infatti superiore ai 230 kg/m² previsti dalla normativa. Questo, oltre a generare un miglior comfort abitativo, porta ad una sensibile riduzione dei consumi energetici per il raffrescamento estivo;
- *Traspirabilità*, le fasce prive di isolante, che naturalmente si vengono a creare accostando un blocco all'altro durante la posa, permettono alla parete di mantenere una buona permeabilità al vapore, evitando la formazione di condense interstiziali;
- *Riduzione dei ponti termici*, gli incastri a secco verticali e la sporgenza degli inserti di 8 mm dalla faccia superiore del blocco annullano i ponti termici tipici di una parete realizzata con blocchi tradizionali, contribuendo così al miglioramento delle prestazioni termiche;
- *Isolamento acustico*, i blocchi, grazie alla loro massa, offrono un elevato comfort acustico, rispettando ampiamente i requisiti acustici passivi di facciata previsti dal D.P.C.M. 5/12/97.

Blocco 2: *Blocco in laterizio alleggerito*, contenente due elementi in polistirene e di una parte in muratura da esso costituita, secondo la norma UNI EN 1745 e con riferimento al D.Lgs. n. 192 del 19/08/2005 e successiva modifica col D.M. 15/05/2006 “attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico dell’edilizia”. Sono stati determinati dei valori termici attraverso l’utilizzo del programma CR THERM e attraverso una serie di prove in laboratorio. Per la fase di elaborazione sono stati considerati i seguenti dati:



BLOCCO 2	Dimensioni	Tipo	Foratura	Peso kg	Spessore muro	Pezzi per m ²
	25x38x22	Tamponamento	60%	14.7	38	17

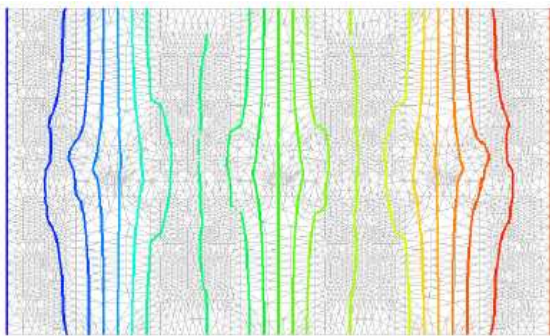
Tab.62. Proprietà condizioni blocco 2



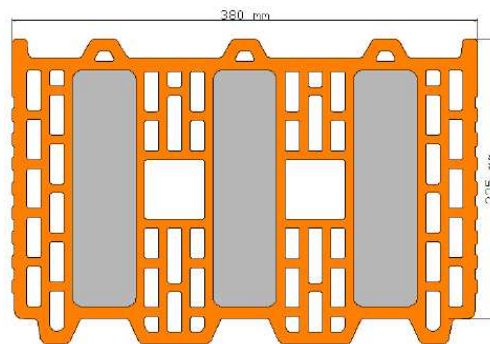
CONDIZIONI	2010
Dimensioni elemento, cm	30x25x24
Resistenza superficiale interna, m ² K/W	0.13
Resistenza superficiale esterna, m ² K/W	0.04
Differenza di temperatura, K	20
Massa volumica netta, Kg/cm ³	1660
Λ di base dell’impasto, W/mK	0.324

Tab.63. Proprietà condizioni blocco 2

La disposizione delle linee isoterme consente di valutare qualitativamente l’andamento del flusso termico passante attraverso la sezione analizzata. Tanto più le isoterme sono parallele e rettilinee tanto più il flusso termico tende ad essere sostanzialmente uniforme nei diversi punti della sezione dell’elemento.



Flusso termico



Caratteristiche geometriche dell'elemento

Il grafico del flusso termico e il grafico delle caratteristiche geometriche dell'elemento del 2004 non sono state inserite perché risultano troppo scure e sono incomprensibili.

Per la determinazione delle caratteristiche termiche della parete in muratura costituita dagli elementi in oggetto si è tenuto conto della presenza della malta di allettamento fra i corsi di elementi sommando alla potenza termica che si trasmette attraverso il blocco la potenza dispersa dai giunti di malta, supponendo identiche le differenze di temperature sulla porzione di struttura e sulla malta.

I risultati del calcolo termico eseguito sull'elemento in oggetto, evidenziano sia il valore di conduttività termica equivalente riferito al solo elemento, sia i valori termici riferiti alla parete:

CONDIZIONI	2010
Conduttività termica equivalente della parete, $\lambda=W/mK$	0.094
Conduttanza termica della parete, $C=W/m^2K$	0.250
Resistenza termica della parete, $R=m^2K/W$	4.000
Trasmittanza termica della parete, $U=W/ m^2K$	0.240
Conduttività intonaco (1.5 cm intonaco interno + 1.5 cm intonaco esterno), $\lambda=W/mK$	0.93
Trasmittanza termica della parete con intonaco, $U=W/ m^2K$	0.237

Tab.64. Prestazioni blocco 2

Pannello isolante sp. 4 cm Intonaco esterno sp. 1.5 cm

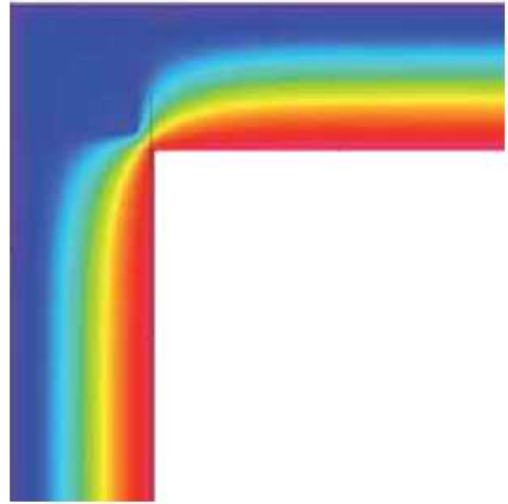
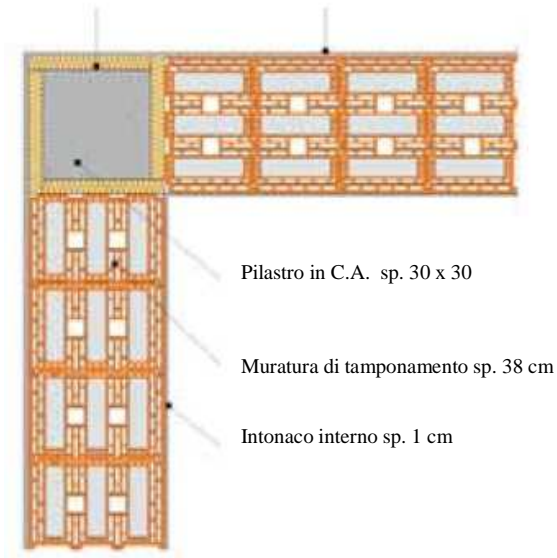
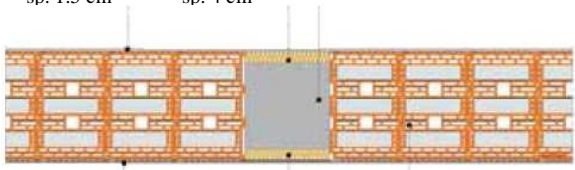


Fig.87. Angolo di muratura con pilastro 30x30

Intonaco esterno sp. 1.5 cm Pannello isolante sp. 4 cm Pilastro in C.A. sp. 30 x 30



Intonaco interno sp. 1 cm Pannello isolante sp. 4 cm Muratura di tamponamento sp. 38

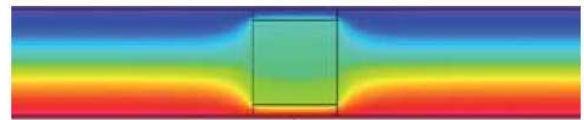


Fig.88. Muratura con pilastro 30x30

	Conducibilità, W/mK	Spessore, cm	Spessore parete, cm	Trasmittanza, W/m²K
Intonaco tradizionale esterno	0.93	1.5	41	0.30
Blocco 1	0.095	38		
Intonaco tradizionale interno	0.54	1.5		

Tab.65. Prestazioni blocco 2

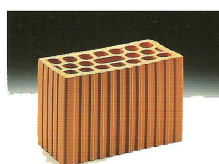
Le certezze dei risultati sono:

- *Isolamento termico*, le pareti realizzate con i blocchi 1, intonacate tradizionalmente, raggiungono trasmittanze termiche di 0,24 e 0,30 W/m²K, rendendo inutile la posa di un cappotto a lastre o di un termo intonaco;
- *Massa superficiale ed inerzia termica*, i blocchi permettono di realizzare tamponamenti con elevata inerzia termica. La massa superficiale della parete, esclusi gli intonaci, è infatti superiore ai 230 kg/m² previsti dalla normativa. Questo, oltre a generare un miglior comfort abitativo, porta ad una sensibile riduzione dei consumi energetici per il raffrescamento estivo;
- *Traspirabilità*, le fasce prive di isolante, che naturalmente si vengono a creare accostando un blocco all'altro durante la posa, permettono alla parete di mantenere una buona permeabilità al vapore, evitando la formazione di condense interstiziali;
- *Riduzione dei ponti termici*, gli incastri a secco verticali e la sporgenza degli inserti di 8 mm dalla faccia superiore del blocco annullano i ponti termici tipici di una parete realizzata con blocchi tradizionali, contribuendo così al miglioramento delle prestazioni termiche;
- *Isolamento acustico*, i blocchi, grazie alla loro massa, offrono un elevato comfort acustico, rispettando ampiamente i requisiti acustici passivi di facciata previsti dal D.P.C.M. 5/12/97.

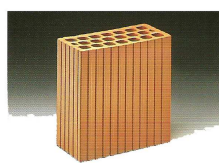
L'innovazione dei prodotti laterizi ha portato anche a un cambiamento nell'esporre le proprietà nei cataloghi. Gli ultimi cataloghi di prodotti mostrano il materiale nella sua interezza dalla tipologia, alla forma alle caratteristiche fisiche e soprattutto alle certificazioni energetiche. Mostrano anche i diversi impieghi del materiale attraverso l'utilizzo di materiali isolante per ottenere la migliore prestazione energetica.

Di seguito verranno riportate alcune immagini di cataloghi del 2000 e del 2010 di una stessa azienda produttrice di laterizi.

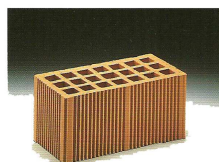
LATERIZIO TRADIZIONALE PER MURATURE



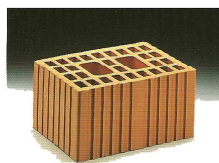
Codice	Descrizione	Dimensioni del Blocco in cm.			Tipologia Blocchi	Pezzi per pacco n.	Peso medio unitario del pacco kg.	Spessore muro	Pezzi per mq. n.	Pezzi per m ² n.	Stabilimento
		P	H	L							
DU 200	Doppio Uni	12	12	25	Portante	224	720	12/25	33/69	277	
DU 201	Doppio Uni	12	15	25	Portante	176	700	12/25	26/55	222	
DU 211	Doppio Uni	12	15	25	Portante	180	720	12/25	26/55	222	
DU 202	Doppio Uni	12	19	25	Portante	144	720	12/25	21/44	175	
DU 212	Doppio Uni	12	19	25	Portante	152	760	12/25	21/44	175	
NU 232	Doppio Uni	12	12	25	Portante	224	700	12/25	33/69	277	
NU 233	Doppio Uni	12	15	25	Portante	176	690	12/25	26/55	222	
NU 234	Doppio Uni	12	19	25	Portante	144	710	12/25	21/44	175	



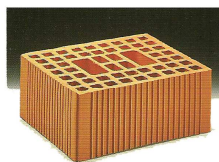
Codice	Descrizione	Dimensioni del Blocco in cm.			Tipologia Blocchi	Pezzi per pacco n.	Peso medio unitario del pacco kg.	Spessore muro	Pezzi per mq. n.	Pezzi per m ² n.	Stabilimento
		P	H	L							
DU 203	Doppi Doppio Uni	12	25	25	Portante	112	700	12/25	16/33	133	



Codice	Descrizione	Dimensioni del Blocco in cm.			Tipologia Blocchi	Pezzi per pacco n.	Peso medio unitario del pacco kg.	Spessore muro	Pezzi per mq. n.	Pezzi per m ² n.	Stabilimento
		P	H	L							
DU 205	Doppio Uni super	12	12	25	Portante	224	720	12/25	33/69	277	
DU 206	Doppio Uni super	12	15	25	Portante	180	720	12/25	26/55	222	



Codice	Descrizione	Dimensioni del Blocco in cm.			Tipologia Blocchi	Pezzi per pacco n.	Peso medio unitario del pacco kg.	Spessore muro	Pezzi per mq. n.	Pezzi per m ² n.	Stabilimento
		P	H	L							
DU 240	Blocco Svizzero	18	12	25	Portante	160	750	18/25	33/46	185	
NU 249	Blocco Svizzero	18	12	25	Portante	160	750	18/25	33/46	185	



Codice	Descrizione	Dimensioni del Blocco in cm.			Tipologia Blocchi	Pezzi per pacco n.	Peso medio unitario del pacco kg.	Spessore muro	Pezzi per mq. n.	Pezzi per m ² n.	Stabilimento
		P	H	L							
DU 241	Blocco Svizzero	30	12	25	Portante	84	630	30/25	33/27	110	Sancino
NU 250	Blocco Svizzero	30	12	25	Portante	84	630	30/25	33/27	110	Casei Gerola

Fig.89. Catalogo prodotti laterizi del 2000

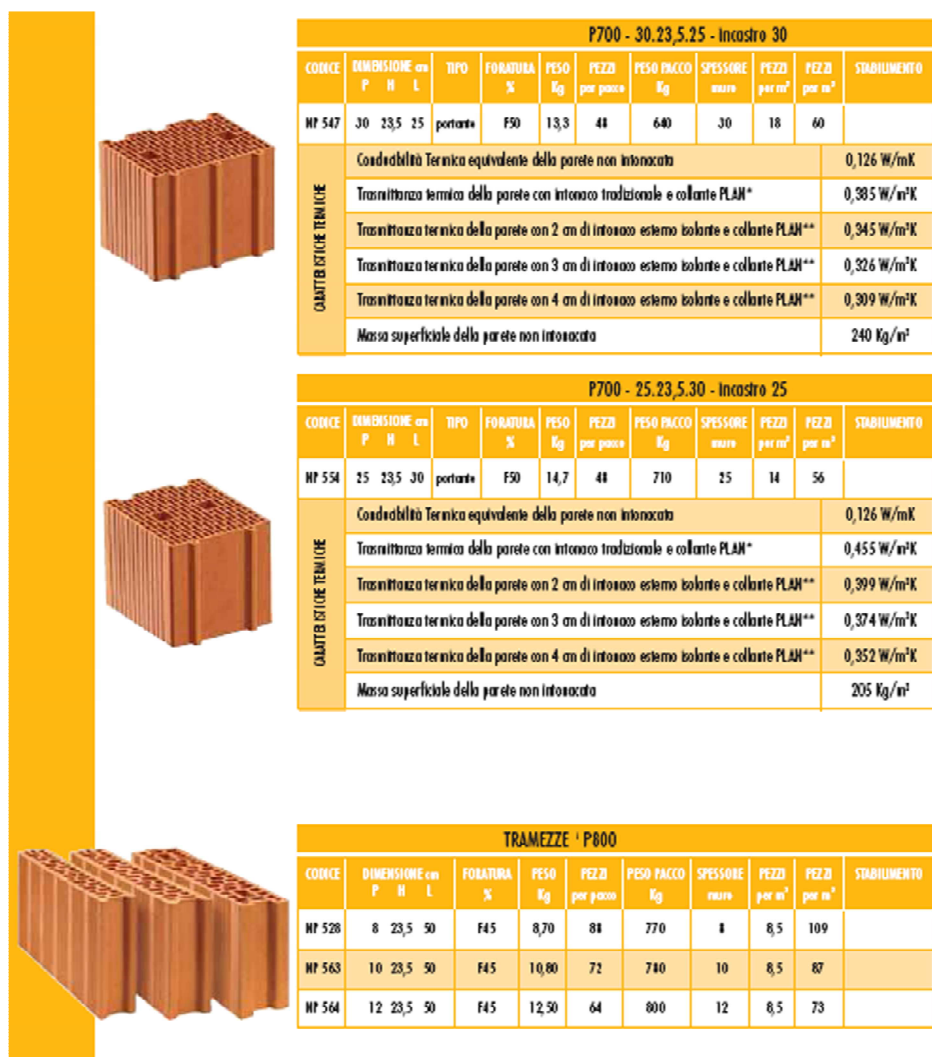


Fig.90. Catalogo prodotti laterizi del 2010

Nella figura 85 vengono inserite le immagini come per il catalogo del 2000, ma oltre ai dati fissi inerenti le dimensioni, la tipologia, il peso al Kg, il peso al pacco, i pezzi al m² e al m³, lo spessore della parete e lo stabilimento dove vengono prodotti, vengono inseriti i dati sulla prestazione termica della parete come la conducibilità termica della parete, la trasmittanza con e senza intonaco e la resistenza termica. Questi dati specifici vanno a rafforzare il prodotto, confermando di eseguire la normativa energetica con il D.Lgs. 192/05 e la successiva modifica del D.Lgs. 311/06.

5.10. Conclusioni

L'elaborazione di valutazioni del comportamento energetico sia alla scala dei prodotti in laterizio (analisi delle specifiche prestazioni termiche al fine di individuare l'incidenza delle variabili di prodotto sul miglioramento delle prestazioni), sia alla scala della soluzione tecnica di involucro (definizione di una procedura di scelta dei prodotti e verifica delle prestazioni, utile ai progettisti per l'individuazione di soluzioni tecniche adeguate a rispondere al D.Lgs. 192/05 e al D.Lgs. 311/06, e accertamento del comportamento di tali soluzioni tecniche, in regime dinamico periodico, per il dimensionamento ottimale della massa termica e dell'isolamento termico nella stratigrafia muraria), sia, infine, alla scala dell'edificio (valutazione del comportamento energetico di diverse soluzioni tecniche di involucro in differenti tipologie di edifici), ha portato le aziende produttrici di laterizi a ridimensionare il proprio piano di lavoro. Il mercato delle costruzioni, da molti anni ormai, rappresenta una significativa componente di dinamismo economico, grazie soprattutto al motore dell'edilizia residenziale che svolge un ruolo strategico e predominante, alimentato dalla domanda di investimento. Il quadro economico e lo scenario del settore delle costruzioni evidenziano quanto sia importante avviare politiche mirate al rispetto ambientale e al risparmio energetico, che potrebbero essere la chiave per qualificare lo sviluppo del settore e contribuire quindi a quello del Paese. Il settore delle costruzioni è un settore trainante dell'economia, ma contemporaneamente è anche il principale responsabile del degrado ambientale. Edificare genera impatti sull'ambiente, non solo all'atto della costruzione, ma anche lungo tutto il processo, dall'approvvigionamento delle materie prime, produzione e trasporto, fino alla dismissione dell'edificio e smaltimento delle macerie da demolizione. L'uso dell'edificio genera impatti per poter garantire condizioni di comfort e benessere interno, interagendo dunque con le esigenze degli abitanti e garantendo loro spazi vivibili e adeguati alle attività che negli edifici si svolgono normalmente. Una unità abitativa media - ad esempio, un appartamento di 90÷100 m² - richiede per la sua costruzione circa 100 tonnellate di materiali con un costo energetico complessivo medio di 500÷700 kCal/kg di prodotto. Il costo energetico dei materiali necessari per realizzare un'abitazione si aggira sulle 5 tonnellate di petrolio e il costo energetico del cantiere è di circa 0,5 tonnellate di petrolio. A fronte di questi costi, il consumo medio annuo per il riscaldamento invernale di un'abitazione italiana è all'incirca di una tonnellata di petrolio. In pratica, in poco più di 5 anni un appartamento consuma per il solo riscaldamento una quantità di energia uguale a quella impiegata per la sua costruzione (Enea, Finco, 2004). In particolare, in Italia i consumi finali di energia nel settore civile sono caratterizzati da un progressivo aumento. In questo ambito, la quota predominante dei consumi energetici è da attribuire al settore residenziale: nel 2003 è responsabile del 65% del totale contro il 35% del terziario.

L'incremento dei consumi energetici è dato principalmente dai consumi elettrici e in particolare dalla crescita del picco estivo, dovuto soprattutto agli usi civili: le famiglie in possesso di un condizionatore sono passate dal 10,7% del 2001 al 16,4% del 2003 (Enea, 2005).

L'aumento dei consumi per il condizionamento estivo non è un problema solo italiano: in Europa si sta verificando una crescita generale (imputabile, negli altri Paesi, soprattutto al settore terziario). Osservando, infatti, le indagini sulla quantità di superfici climatizzate in Europa durante il periodo estivo emerge quanto queste siano in crescita in tutte le nazioni e come l'incremento degli ultimi anni in Italia e Spagna sia nettamente superiore (50%) e con notevole distacco rispetto a quello degli altri Paesi europei. In Europa, l'area totale raffrescata è stimata passare dai 1.000 milioni di m² del 2003 ai circa 2.000 milioni di m² del 2010 (EECCAC, 2003).

Per queste ragioni nel campo dell'edilizia la normativa energetica di riferimento, D.Lgs. 192/05 e alla successiva modifica con il D.Lgs. 311/06, ha obbligato le aziende produttrici di laterizi a cambiare le prestazioni dei propri prodotti.

Attraverso l'analisi affrontata nei paragrafi precedenti è stato evidenziato il costante cambiamento dei prodotti in laterizio che ha portato ad un innalzamento delle prestazioni termiche.

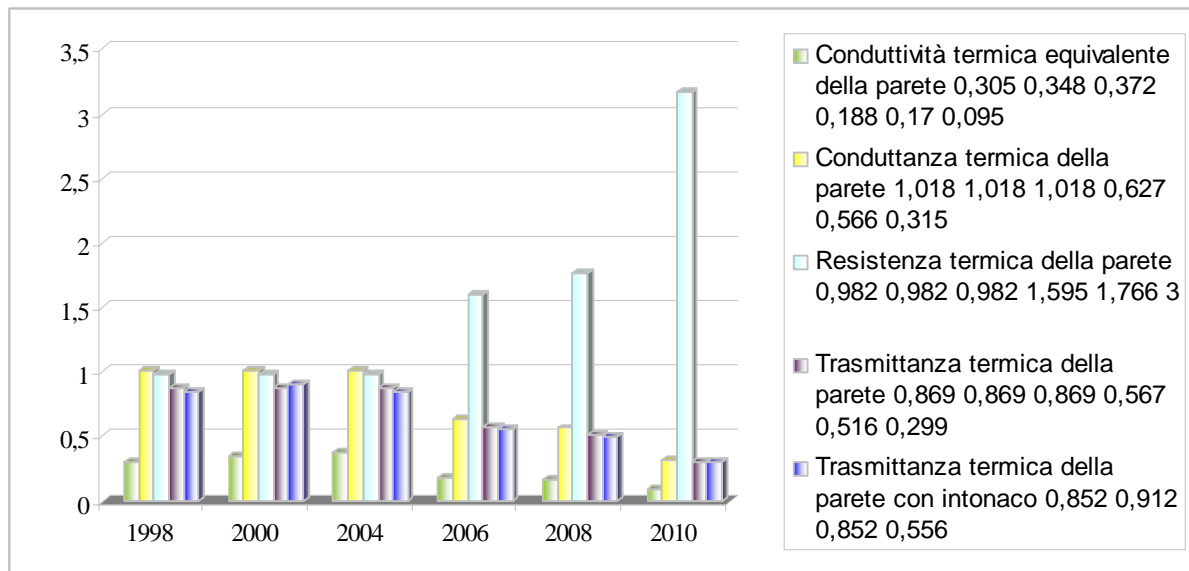


Grafico.11. Tempo-prestazioni

Dal 1998 al 2010 il salto è stato notevole, soprattutto per la diminuzione della trasmittanza termica della parete intonacata e per l'aumento della resistenza termica della parete, dal 1998 al 2010 aumenta quasi del triplo. Questo è un traguardo importantissimo per le aziende produttrici di laterizi e

soprattutto per l'ambiente, perché vuol dire che si può arrivare a delle prestazioni sempre maggiori per il benessere collettivo.

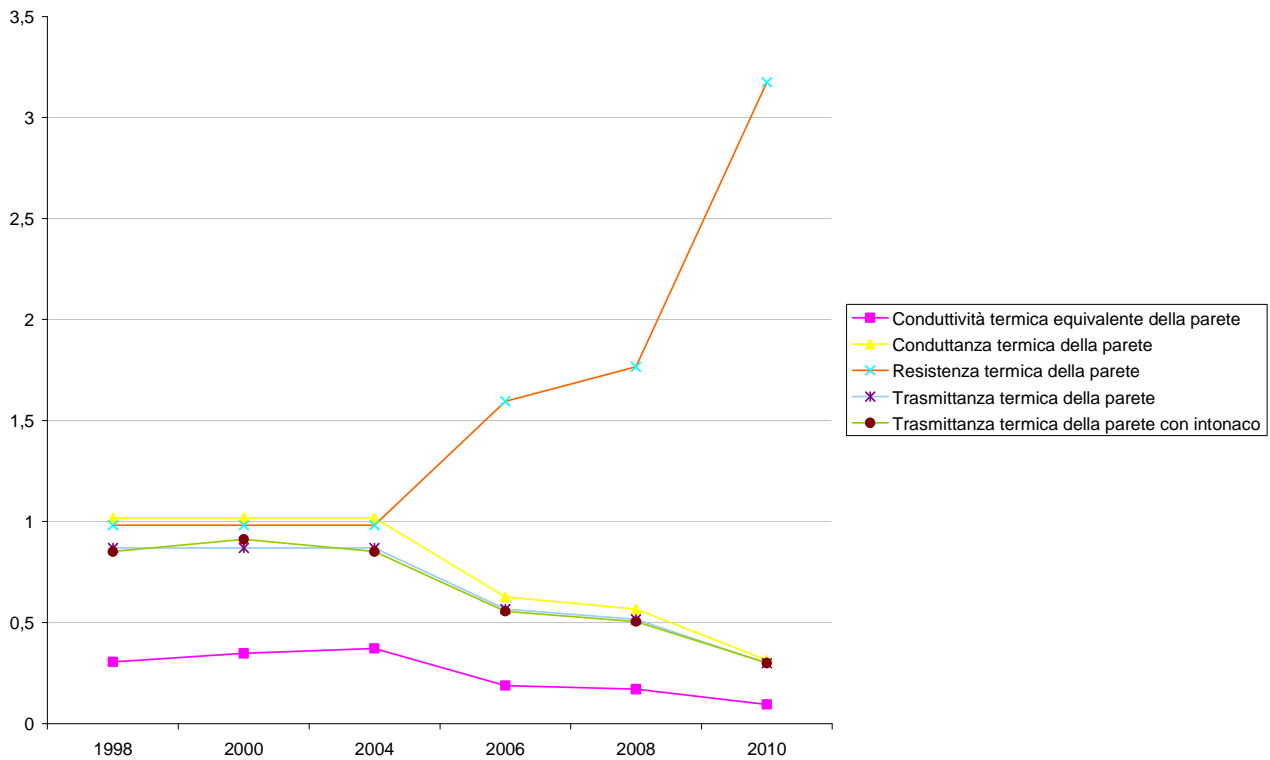


Grafico.12. Tempo-prestazioni

Il grafico sovrastante evidenzia ancora una volta l'andamento delle prestazioni dei prodotti in laterizio. Questa analisi è stata fatta su un campione, il produttore 1, ma è possibile credere che queste caratteristiche siano simili anche al resto dei produttori di laterizi a livello nazionale, poiché nel capitolo precedente è stato analizzato il rapporto fra tre produttori ed il risultato è stato simile per entrambi ossia, prodotti con prestazioni simili.

Bibliografia

- Imbrighi Gianpaolo, *I materiali dell'architettura: tra tecnologia e ambiente*, Roma, Kappa, 1992
- Menicali Umbrto, *I materiali dell'edilizia storica: tecnologia e impiego dei materiali tradizionali*, Roma, Nis, 1992
- Scudo Gianni, *Tecnologie termo edilizie, principi e tecniche innovative per la climatizzazione dell'edilizia*, Milano, Città studi, 1993
- Offenstein Frédéric, *Compatibilità dei materiali: come associare i materiali da costruzione*, Torino, Utet, 1995
- Chiesa Giancarlo, Dall'ò Giuliano, *Risparmio energetico in edilizia: criteri e norme*, Milano, Masson, 1996
- Herzog Thomas, *Atlante del legno*, Torino, Utet, 1998
- Hoffmann Gosele Belz, Reichert Jenisch Pohl, *Atlante della muratura*, Torino, Editrice Torinese, 1998
- Zanarini Giorgio, *Costruire in Alveolater: suggerimenti per la progettazione e l'esecuzione di murature in blocchi di alveolater*, Bologna, Consorzio alveolater, 1999
- Cagnana Aurora, *Archeologia dei materiali da costruzione*, Mantova, società archeologia padana, 2000
- Carguel Gianangelo, *Tecnologia edilizia materiali e progettazione di elementi costruttivi*, Mantova, Technologos edizioni, 2002
- Lauria Antonio, *Tavelloni e tavelle in laterizio, le tipologie e gli scenari di impiego in edilizia*, Roma, Edizioni Laterservice, 2005
- Fassi Alessandro, Laura Maina, *L'isolamento ecoefficiente: guida all'uso dei materiali naturali*, Milano, Edizioni Ambiente, 2006
- Hegger Manfred, *Atlante dei materiali*, Torino, Utet, Scienze tecniche, 2006
- Szokolay Steven V., *Introduzione alla progettazione sostenibile*, Milano, Hoepli, 2006
- Dall'ò Giuliano, *Manuale della certificazione energetica degli edifici*, Milano, Edizioni Ambiente, 2008
- Ponzini Carlo, *L'edificio energeticamente sostenibile: materiali contemporanei per il risparmio energetico*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli, 2009
- Brivio Sergio Fabio, *Schermature solari e tende tecniche: metodi e soluzioni di progetto, tipologie, risparmio energetico*, Milano, Gruppo 24 ore, 2010

Sitografia

www.architetturaesostenibilita.it

www.bmsistemi.com

www.cestec.com

www.creaton.de

www.crosoft.it

www.danesilaterizi.it

www.dimuzio.it

www.edilio.it

www.edilportale.com

www.ediliziastorica.blogspot.com

www.educazioneambiente.it

www.fantinisciantatico.it

www.fornacigiuliane.it

www.fortechance.com

www.laterizi.it

www.nigra.it

www.poroton.it

www.rockwool.it

www.solaioinlaterizio.it

www.termoisolanti.com

www.velaspa.it

